

甲基溴土壤消毒替代技术条件下的线虫生态学研究

曹志平¹, 陈国康¹, 于永莉¹, 刘奇志², 郑长英¹, 陈云峰¹, 杨 杭¹

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094; 2. 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100094)

摘要:为评价和筛选几种甲基溴替代技术及其对土壤线虫群落的影响, 2001 年 6 月~2002 年 3 月对 5 种土壤消毒处理的线虫数量和群落结构及微生物量动态作了测定和分析。试验共分离到土壤线虫 4 个目 14 个科属, 包括小杆目(*Rhabditida*)、垫刃目(*Tylenchida*)、矛线目(*Dorylaimida*)、单宫目(*Monhysterida*)。小杆目线虫占总数的 88.7%, 表明食细菌的小杆目线虫是该温室土壤线虫群落的优势类群。分析表明甲基溴+VIF、威百亩、威百亩+VIF 三种措施的消毒效果达到了甲基溴处理的水平, 可作为甲基溴土壤消毒替代技术, 而太阳能+BCA 处理未达到甲基溴消毒的效果。研究显示同一处理的线虫数量在两个番茄品种(AF179 和毛粉 802)间不存在显著差异, 即表明这两种番茄品种不是影响土壤线虫数量动态的主要因素。对消毒处理后土壤线虫各营养类群在群落中的比例进行分析, 发现与对照相比, 化学消毒提高了线虫群落中优势类群(即食细菌线虫)的比例, 而使弱势类群的比例下降, 这表明土壤线虫的弱势类群对化学熏蒸剂更加敏感。两番茄品种小区中土壤食细菌、食真菌线虫数量与微生物量碳之间呈显著正相关关系, 表明微生物生物量的消长受土壤消毒措施的影响, 同时也证实了上述两营养类群线虫与土壤微生物间的食物依赖关系。

关键词:甲基溴; 替代技术; 线虫; 生态学; 土壤; 番茄

Ecological researches on nematodes in alternative technologies to the use of methyl bromide in soil fumigation

CAO Zhi-Ping¹, CHEN Guo-Kang¹, YU Yong-Li¹, LIU Qi-Zhi², ZHENG Chang-Ying¹, CHEN Yun-Feng¹, YANG Hang¹

(1. College of Resources and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing, 100094; 2. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing, 100094). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(6): 1205~1211.

Abstract: The application of methyl bromide in soil fumigation can control the soil borne diseases much effectively. However methyl bromide has been proved as one of ozone depletion substances (ODS). Based on the Copenhagen Amendment of Montreal Protocol, the consumption of methyl bromide will reduce 20% and until 2015 it will be banned completely in China. In order to take necessary and adequate technical preparation before the reduction and phase out of methyl bromide in Chinese agriculture, China and Italy started to launch a cooperation project in 2001. The study was a part of the cooperation project, and it was conducted in four greenhouses in Qingzhou of Shandong province, aimed to identify feasible alternative technologies under the current conditions in agricultural production, economical and social sector of China. Two tomato cultivars (Maofen-802 from the Xian Institute of Vegetables and AF179 Brillante from Israeli Hazera Quality Seeds) were selected as crops. Four alternative technologies were chosen in the experiment. They were MB (methyl bromide) + VIF (virtually impermeable film), MS (metham sodium), MS + VIF, SS (soil solarization) + BCAs (biological control agents). Population dynamics and community structure of soil nematodes were measured from June, 2001 to March, 2002. Four orders with fourteen families or genera were detected, mainly in *Rhabditida*, *Tylenchida*, *Dorylaimida*, *Monhysterida*. *Rhabditida* was the dominant group, with 88.7% of the soil nematode community. And the proportion of *Tylenchida*, *Dorylaimida*, *Monhysterida* were 7.2%,

基金项目:中国和意大利甲基溴替代技术合作资助项目; 国家自然科学基金重点资助项目(39630070)

收稿日期:2003-05-15; **修订日期:**2004-02-28

作者简介:曹志平(1962~), 博士, 教授, 主要从事土壤生态学研究。E-mail: zhipingc@cau.edu.cn

Foundation item: Sino-Italian environmental cooperation project titled as "Transfer of Alternative Technology to the Use of Methyl Bromide and Capacity Building in the Soil Fumigation Sector"; Key project of National Natural Science Foundation of China (No. 39630070)

Received date: 2003-05-15; **Accepted date:** 2004-02-28

Biography: CAO Zhi-Ping, Ph. D., Professor, mainly engaged in soil ecology. E-mail: zhipingc@cau.edu.cn

4.0% and 0.1%, respectively. In terms of the functional groups, bacterivorous nematode was the most abundant in the experimental plots, with 88.8% of the total number of nematodes sorted out, and the herbivores, fungivores and omnivores/predator were 5.0%, 2.2% and 4.0% respectively. For the nematodes abundance, there was significant difference between treatments. For example, in Maofen plot the nematode number/100g soil in CK (control plot) was 71 and 45 in SS+BCA treatment, there was a significant difference between these two plots. In the four chemical fumigation treatments, the nematodes in MB, MB+VIF, MS, MS+VIF were 15, 12, 16 and 11 per 100g soil. This result implied that the impact of three chemical alternatives (MB+VIF, MS and MS+VIF) on nematodes abundance and functional groups abundance were very similar to the impact associated with the use of methyl bromide. At this point, it could be concluded that the three alternatives to MB were equal in impact on suppression of soil nematodes. The impact of soil solarization on nematodes and functional groups abundance was noticeable between CK and the four chemical treatments. In the study, no significant difference was found between the two cultivars (AF179 and Maofen) in nematodes abundance. After soil fumigation, an increasing tendency of bacterivores nematodes proportion was observed as compared with CK plot, and the percent of minority nematodes declined obviously. It indicated the minority nematodes in the soil were more sensitive to the chemical fumigants. Analysis of soil nematodes dynamics during the sampling period was conducted in CK plot and found that the abundance of all soil nematodes reached the peak in July and began to decline in September, and kept a low level until next January, then the abundance started to increase again. Furthermore, it was found that bacterivore and fungivore nematodes were positively correlated with microbial biomass whether in AF179 or Maofen cultivar. The proper explanation might be that soil microbial biomass responded much rapidly as a whole to the changes in management and the soil microorganisms were the main food resources of these two functional groups.

Key words: methyl bromide; alternative technologies; nematodes; ecology; soil; tomato

文章编号:1000-0933(2004)06-1205-07 中图分类号:Q959.174 文献标识码:A

甲基溴(Methyl bromide)被证实为大气臭氧层消耗物质。近年来发达国家已采取行动以减少甲基溴的使用,如在意大利^[1],而发展中国家的反应则相对滞后^[2]。人类只有一个地球,为此,有必要在发达国家和发展中国家间加强技术合作与交流以共同保护地球的臭氧层。减少使用甲基溴及其替代技术的研究已经起步,并取得了可喜的成果。该研究为中国和意大利甲基溴替代技术合作项目的一部分,旨在评价和筛选几种甲基溴替代技术及其对温室土壤线虫群落的影响。

1 材料和方法

试验点选在山东省青州市辛庄村 4 个温室大棚。按完全随机区组设计,每个大棚设置 6 个处理:甲基溴(MB)、甲基溴+VIF 膜(不透汽膜)、威百亩(MS)、威百亩+VIF 膜、土壤太阳能消毒(SS)+生防制剂(BCA)、对照(CK)。甲基溴、威百亩和太阳能处理则选用国产透气的普通塑料膜。2001 年 7~8 月对土壤进行消毒处理,甲基溴由钢瓶通过塑料管道直接排放到膜下,威百亩通过滴灌系统排放。VIF 膜由意大利生产,其密封性能好于普通塑料膜。BCA 为木霉(*Trechoderma* spp.)生防制剂(2.0×10^8 /g),在西红柿苗移栽前施入太阳能处理小区。西红柿品种为毛粉 802(国产)和以色列品种 AF179,分垄种植在每小区。

2001 年 6 月~2002 年 3 月,分期取土样,并对土壤线虫类群进行分类鉴定。取样时间:土壤消毒处理前(6 月 8 日,7 月 13 日),处理后移栽前(9 月 8 日),作物生长期(10 月 20 日,12 月 1 日,1 月 14 日),收获期(3 月 10 日),共采样 7 次。线虫分离方法^[3]为:将土样剔除砂砾和粘粒后称量 200 g,经冲洗、过筛、离心后,用 TAF 液固定土壤悬浮液中的线虫,1 周后进行分类鉴定和计数。

测定土壤线虫数量、微生物生物量及土壤理化性质,并运用物种数量和 Shannon 指数等指标分析土壤线虫群落结构^[4],以分析土壤线虫的动态变化及与环境因子的相互关系。

2 结果与分析

2.1 土壤线虫的密度和群落结构

所分离的土壤线虫共 4 个目 14 个科属(表 1,表 2),包括小杆目(*Rhabditida*)、垫刃目(*Tylenchida*)、矛线目(*Dorylaimida*)、单宫目(*Monhysterida*)。表 1、2 为各类型土壤线虫的数量及其在群落中所占的比例,其中小杆目线虫的数量占所分离线虫总数的 88.7%,表明小杆目线虫是该温室土壤线虫群落的主体,属于优势类群,垫刃目占 7.2%,矛线目占 4.0%,单宫目线虫仅在几个土样中发现,仅占 0.1%,为该温室土壤线虫群落中的稀有类群。

表 3 列出了各科属线虫的营养功能类型及各自所占的比例。小杆目线虫包括小杆科(*Rhabditidae*)和头叶科(*Cephalobidae*)线虫,其中前者占绝大比例达 94.7%,头叶科仅占小杆目线虫的 5.3%。垫刃目线虫种类最多,包括 9 个属,垫刃

表 1 土壤线虫的密度及群落组成(条/100g 土)

Table 1 Density and community structure of soil nematodes population (AF179, number / 100g soil)								
线虫类群 Nematode classification		处理前	处理后: AF179					
		Before treatment	After treatment ; AF179					
		1-Jul	1-Sep	1-Oct	1-Dec	2-Jan	2-Mar	总计
小杆目 <i>Rhabditida</i>	小杆科 <i>Rhabditidae</i>	1245	206	106	87	104	161	664
	头叶科 <i>Cephalobidae</i>	7	6	7	9	10	11	43
单宫目 <i>Monhysterida</i>	单宫属 <i>Monhysterida</i>	0	0	0	0	0	2	2
垫刃目 <i>Tylenchida</i>	真滑刃属 <i>Aphelenchus</i>	4	3	3	2	2	1	11
	滑刃属 <i>Aphelenchida</i>	1	1	1	1	8	8	19
	垫刃属 <i>Tylenchus</i>	5	5	2	3	6	9	25
	矮化属 <i>Tylenchorhynchus</i>	3	3	2	1	1	0	7
	盾状属 <i>Scutellonema</i>	0	1	2	1	0	2	6
	茎属 <i>Ditylenchus</i>	7	4	2	3	2	4	15
	螺旋属 <i>Helicotylenchus</i>	1	3	3	2	3	7	18
	盘旋属 <i>Rotylenchus</i>	1	2	1	2	3	2	10
	短体属 <i>Pratylenchus</i>	0	1	0	0	0	0	1
	总类 Sum	1278	246	137	119	154	228	884
矛线目 <i>Dorylaimida</i>	矛线科 <i>Dorylaimidae</i>	4	7	6	7	14	18	52
	单齿属 <i>Mononchus</i>	0	4	2	1	1	3	11

表 2 土壤线虫的密度及群落组成(条/100g 土)

Table 2 Density and community structure of soil nematodes population (Maofen, number / 100g soil)								
线虫类群 Nematode classification		处理前	处理后：毛粉					
		Before treatment	After treatment ; Maofen					
		1-Jul	1-Sep	1-Oct	1-Dec	2-Jan	2-Mar	总计
小杆目 <i>Rhabditida</i>	小杆科 <i>Rhabditidae</i>	1245	206	124	81	120	188	719
	头叶科 <i>Cephalobidae</i>	7	6	6	7	9	7	35
单宫目 <i>Monhysterida</i>	单宫属 <i>Monhysterida</i>	0	0	0	0	0	0	0
垫刃目 <i>Tylenchida</i>	真滑刃属 <i>Aphelenchus</i>	4	3	3	2	4	3	15
	滑刃属 <i>Aphelenchida</i>	1	1	1	1	9	9	21
	垫刃属 <i>Tylenchus</i>	5	5	2	2	5	9	23
	矮化属 <i>Tylenchorhynchus</i>	3	3	1	1	2	0	7
	盾状属 <i>Scutellonema</i>	0	1	0	1	1	1	4
	茎属 <i>Ditylenchus</i>	7	4	2	3	3	3	15
	螺旋属 <i>Helicotylenchus</i>	1	3	1	2	1	3	10
	盘旋属 <i>Rotylenchus</i>	1	2	1	2	1	1	7
	短体属 <i>Pratylenchus</i>	0	1	0	1	2	0	4
	矛线目 <i>Dorylaimida</i>	矛线科 <i>Dorylaimidae</i>	4	7	6	5	20	20
单齿属 <i>Mononchus</i>		0	4	2	1	2	2	11
总数 Sum		1278	246	149	109	179	246	929

表 3 各营养类群包含的科(属)线虫及各自的比例

Table 3 Nutritional groups and the percent of soil nematodes				
营养类群	目	科、属	目内比例(%)	总数比例(%)
Nutritional groups	Order	Family or genus	Percent in order	Percent in total
食真菌线虫 Fungivores	垫刃目 <i>Tylenchida</i>	真滑刃属 <i>Aphelenchus</i>	13.8	5.0
		滑刃属 <i>Aphelenchida</i>	17.1	
		垫刃属 <i>Tylenchus</i>	25.6	
		矮化属 <i>Tylenchorhynchus</i>	7.7	
		盾属 <i>Scutellonema</i>	3.7	
		茎属 <i>Ditylenchus</i>	13.4	
		螺旋属 <i>Helicotylenchus</i>	10.7	
		盘旋属 <i>Rotylenchus</i>	6.4	
		短体属 <i>Pratylenchus</i>	1.5	
		总类 Sum	100.0	
食细菌线虫 Bacterivores	单宫目 <i>Monhysterida</i>	单宫属 <i>Monhysterida</i>	100.0	88.8
	小杆目 <i>Rhabditida</i>	小杆科 <i>Rhabditidae</i>	94.7	
食藻类/捕食性线虫 Omnivores/Predator	矛线目 <i>orylaimida</i>	头叶科 <i>Cephalobidae</i>	5.3	4.0
		矛线科 <i>Dorylaimidae</i>	86.9	
		单齿属 <i>Mononchus</i>	13.2	

属(*Tylenchus*)线虫数量最多,占垫刃目线虫的 25.6%,滑刃属(*Aphelenchida*)线虫仅次于垫刃属,占 17.1%,茎属(*Ditylenchus*)占 13.4%,真滑刃属(*Aphelenchus*)占 13.8%,螺旋属(*Helicotylenchus*)为 10.7%,矮化属(*Tylenchorhynchus*)为 7.7%,盘旋属(*Rotylenchus*)为 6.4%,盾属(*Scutellonema*)为 3.7%,短体属(*Pratylenchus*)为 1.5%。矛线目线虫包括矛线科(*Dorylaimidae*)和单齿属(*Mononchus*)线虫,其中矛线科占绝大多数为 86.9%,后者为 13.1%。单宫目线虫仅观测到单宫属(*Monhysterida*)。将实验分离的土壤线虫按食性划分为 4 个营养类群(表 3):食细菌线虫、食真菌线虫、食植物线虫、食藻类/捕食线虫^[4,6]。食细菌线虫包括小杆目的小杆科、头叶科线虫和单宫目的单宫属线虫,垫刃目的滑刃属、真滑刃属线虫为食真菌类群,垫刃目的垫刃属、盘旋属、螺旋属、盾线虫属、茎线虫属、短体属、矮化属为食植物线虫,矛线目的矛线科线虫为食藻类线虫,矛线目的单齿属线虫为捕食性线虫。食细菌线虫占土壤线虫总数的 88.8%,为该温室土壤线虫群落中为优势类群,其他 3 类土壤线虫共占 11.2%,其中食植物线虫为 5.0%,食藻类/捕食性线虫占总数的 4.0%,食真菌线虫所占比例最小为 2.2%。

2.2 土壤消毒处理的线虫数量比较

土壤物理或化学消毒处理对土壤线虫数量的影响不同,如表 4(2001 年 10 月~2002 年 3 月)所示。图 1 则显示了土壤消毒处理后线虫数量的差异性,方差分析表明 6 种土壤处理间线虫数量的差别很大,其中对照小区的线虫数量约占总数的 45.0%,明显高于其它 5 个消毒处理;太阳能+BCA 处理的线虫约占 26.0%,低于对照但又明显高于其余 4 个农药处理;4 个化学处理甲基溴、甲基溴+VIF、威百亩、威百亩+VIF 的线虫数量无显著差异,但与对照、太阳能+BCA 处理间有显著差异,其中威百亩+VIF 处理小区的线虫数量最低,表明威百亩+VIF 处理的杀线虫效果最好,甲基溴处理居次,甲基溴+VIF 和威百亩处理对线虫数量的控制基本上相同。

分析各消毒处理间土壤线虫的物种数和 Shannon 指数,表明 4 个化学处理与太阳能+BCA 处理和对照有显著差异(表 5),后者的这两项指标均高于化学消毒处理。不同消毒处理土壤各营养类群线虫的数量比较结果也显示了这种趋势(表 6),如食植物线虫可寄生在植物组织造成危害,其数量在甲基溴、甲基溴+VIF、威百亩和威百亩+VIF 处理间无显著差异,但均与太阳能+BCA 处理和对照的差异显著。

将 AF179 和毛粉移栽入大棚后按不同土壤处理小区和不同品种进行取样,对其线虫数据(表 4)的分析表明,同一处理两品种间的线虫数量不存在显著性差异($F=0.618, P=0.45>0.05$)。因此,西红柿品种可能不是影响土壤线虫的主要因素。

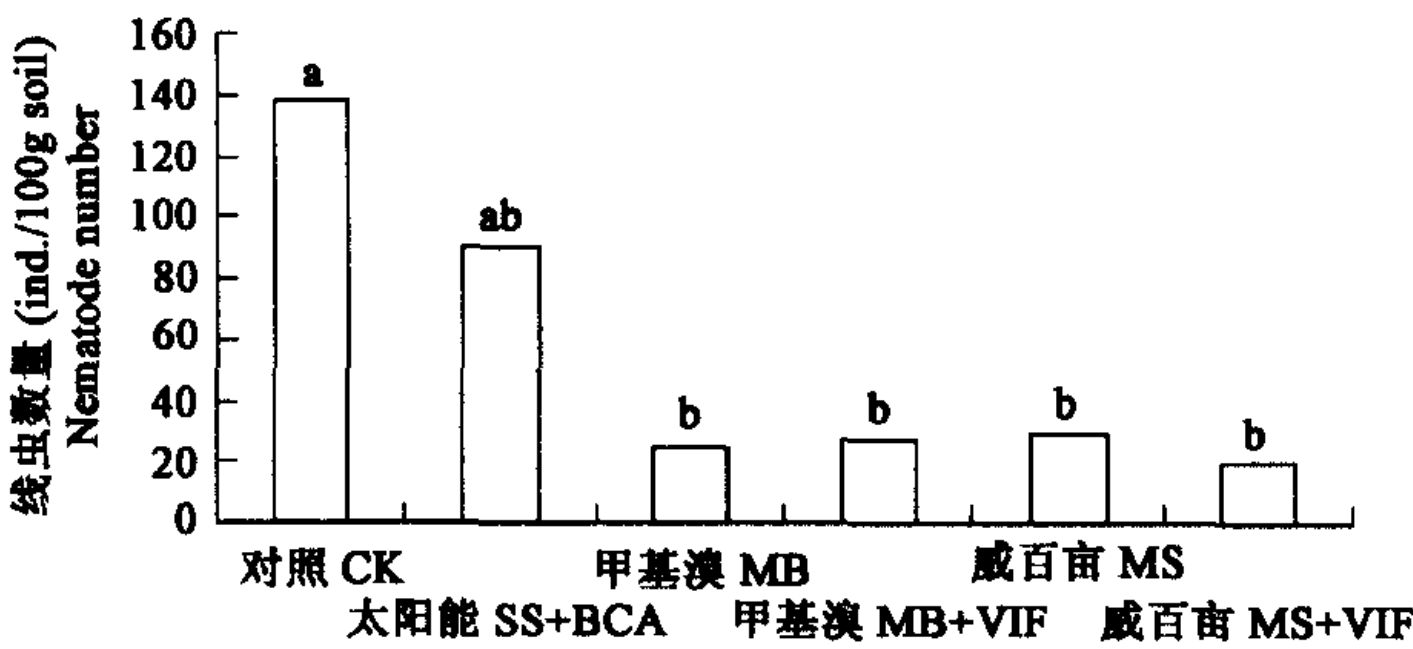


图 1 各土壤消毒处理的线虫数量(条/100g 土)比较

Fig. 1 Comparison of nematode number (100g soil) among treatments

表 4 各土壤消毒处理的线虫数量(条/100g 土)

Table 4 Nematodes number (100g soil) in treatments for soil fumigation

处理 Treatment	品种 Cultivar	小杆	头叶	单宫	真滑刃	滑刃	垫刃	矮化	盾状	茎属	螺旋	盘旋	短体	矛线	单齿	总数 Sum
对照	AF179	48	3	1	1	2	2	0	1	1	3	2	0	4	1	67
CK	毛粉 Maofen	54	3	0	2	2	2	0	0	1	1	1	0	5	0	71
太阳能+BCA	AF179	32	2	0	0	3	2	0	0	1	1	0	0	4	1	45
SS+BCA	毛粉 Maofen	32	2	0	1	3	1	1	1	1	1	0	0	4	1	45
甲基溴	AF179	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	10
MB	毛粉 Maofen	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	15
甲基溴+VIF	AF179	12	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	16
MB+VIF	毛粉 Maofen	10	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	12
威百亩	AF179	10	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	13
MS	毛粉 Maofen	12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	16
威百亩+VIF	AF179	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	9
MS+VIF	毛粉 Maofen	7	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	11

2.3 各土壤消毒处理对线虫群落结构的影响

分析消毒处理后土壤线虫各营养类群在群落中的比例(表 7),与对照相比,化学消毒的结果提高了线虫群落中优势类群(即食细菌线虫)的比例,而使弱势类群的比例下降,这表明土壤线虫的弱势类群对化学熏蒸剂更加敏感。

不同消毒处理土壤线虫群落的聚类分析(采用 SPSS 软件),结果表明甲基溴、甲基溴+VIF、威百亩、威百亩+VIF 处理聚

为一类,太阳能+BCA 为一类,两类聚合一起后再与对照聚合。因此取距离值为 5 时,6 种处理两个品种的土壤线虫类群相似地聚为 3 类,太阳能+BCA 处理对线虫的影响结果更偏向于 4 个化学消毒处理(图 2)。

表 5 各消毒处理的土壤线虫指标比较 (100g 土)

Table 5 Comparison of nematode indicators (100g soil) among treatments							
品种 Cultivar	指 标 Indicator	对照 CK	太阳能+BCA SS+BCA	甲基溴 MB	甲基溴+VIF MB+VIF	威百亩 MS	威百亩+VIF MS+VIF
毛粉 Maofen	数量 Number	71a *	45b	15c	12c	16c	11c
	物种数 Number of species	12a	10a	4b	5b	5b	5b
	Shannon 指数 Shannon index	1.42a	1.47a	0.57c	0.91bc	1.05ab	1.48a
AF179	数量 Number	67a	45b	10c	16c	13c	9c
	物种数 Number of species	12a	9b	4d	6c	5cd	4d
	Shannon 指数 Shannon index	1.61a	1.45a	0.78b	1.20a	1.25a	1.25a

* 同一指标不同处理的 Duncan's 多重比较结果用字母表示(P=0.05)(下同)Duncan's multiple range test(P=0.05)(the same below)

表 6 不同消毒处理土壤各营养类群线虫的数量比较(条/100g 土)

Table 6 Comparison of nematode number (100g soil) of different nutritional groups among treatments							
品种 Cultivar	营养类群 Nutritional groups	对照 CK	太阳能+BCA SS+BCA	甲基溴 MB	甲基溴+VIF MB+VIF	威百亩 MS	威百亩+VIF MS+VIF
毛粉 Maofen	食植物线虫 Herbivores	6a	4a	0b	1b	0b	1b
	食细菌线虫 Bacterivores	56a	34b	13b	9b	14b	9b
	食真菌线虫 Fungivores	4a	3ab	1b	1b	0b	0b
	食藻类/捕食性线虫 Omnivores/Predator	5a	4ab	1b	1b	2b	1b
AF179	食植物线虫 Herbivores	7a	4b	0c	2c	0c	1c
	食细菌线虫 Bacterivores	52a	34b	9b	11b	12b	7b
	食真菌线虫 Fungivores	3a	3ab	0b	1b	0b	0b
	食藻类/捕食性线虫 Omnivores/Predator	5a	4a	1b	2b	1b	1b

表 7 处理后土壤线虫各营养类群在群落中的比例(%)

Table 7 Percent (%) of different nutritional groups nematode in the community after treatments						
营养类群 Nutritional groups	对照 CK	太阳能+BCA SS+BCA	甲基溴 MB	甲基溴+VIF MB+VIF	威百亩 MS	威百亩+VIF MS+VIF
M-b	82.3	75.5	93.9	85.5	83.7	80.0
M-f	4.1	6.0	0.5	0.9	1.7	3.3
M-h	7.3	9.7	2.9	9.1	1.2	7.2
M-o/p	6.3	8.8	2.7	4.5	13.4	9.5
总数 Sum	100	100	100	100	100	100
A-b	80.2	76.4	90.9	81.8	86.8	83.2
A-f	3.1	5.6	1.0	0.7	2.4	0.3
A-h	10.3	9.0	4.1	11.6	3.4	4.6
A-o/p	6.4	9.0	4.0	5.9	7.4	11.9
总数 Sum	100	100	100	100	100	100

代号: M-毛粉, A-AF179, b-食细菌线虫, f-食真菌线虫, h-食植物线虫, o/p-食藻类/捕食性线虫 Code: M - Maofen, A - AF179, b - bacterivores, f - fungivores, h - herbivores, o/p - omnivores/predator

2.4 土壤线虫的数量波动

分析对照小区土壤线虫的数量随时间的波动,能反映常规条件下温室土壤线虫的一般特点。由图 3 看出,线虫总数量在 2001 年 7 月达到高峰,9 月份开始下降,于 12 月份到达低谷,但翌年 1 月份其数量又重新上升。该变动趋势可能与年气温波动密切相关。

2.5 土壤线虫数量与微生物量及土壤理化性质的关系

方差分析表明土壤微生物量碳在甲基溴、甲基溴+VIF、威百亩、威百亩+VIF 等 4 个处理与对照间有显著性差异,但这种

差异只在土壤刚消毒后的 9 月份出现,随后几月未出现明显差异(表 8)。

无论毛粉还是 AF179 品种,其土壤微生物量碳与食细菌、食真菌线虫的数量间均存在显著的正相关(表 9)。除微生物量碳与 Cl^- 显著正相关外,土壤线虫数量及微生物量碳与土壤理化性质间的相关性不显著,仅与硝态氮、有机质、全钾、 Mg^{2+} 、 Cl^- 的正相关性较高(表 10)。

3 讨论

对土壤消毒处理后的线虫数量和群落结构及土壤微生物量的分析结果表明,甲基溴+VIF、威百亩、威百亩+VIF 3 种措施其消毒效果达到了甲基溴处理的水平,可作为甲基溴土壤消毒替代技术,而太阳能+BCA 处理未达到甲基溴消毒的效果。尽管甲基溴+VIF、威百亩+VIF 施用的甲基溴剂量较甲基溴、威百亩处理分别减少了 25%,但试验消毒处理的效果无明显差异,这表明 VIF 膜密封性能好,可作为减少甲基溴使用量的过渡技术。太阳能和生防制剂处理没有达到化学品熏蒸的效果,这主要是因为实验期间连续 1 个月的雨天,太阳辐射不足,导致土壤温度未出现持续的高温状态,这严重影响了太阳能高温消毒的效果。聚类分析也支持了太阳能+BCA 处于对照和化学处理之间应单独聚为一类的结论。

毛粉和 AF179 品种间的土壤线虫无显著差异,表明该植被条件与化学处理相比对土壤线虫影响较小。比较处理间各类群线虫的比例差异可测定某类线虫对土壤化学消毒的敏感性。

土壤线虫的数量动态可能受气候条件的影响。冬季的低温也使温室土壤温度明显下降,部分线虫死亡或其繁殖活动停止,这可能是线虫数量在 12 月前后出现低谷的原因。但 9 月至次年 3 月线虫数量很低且少变化,这种趋势与华北平原自然条件下的

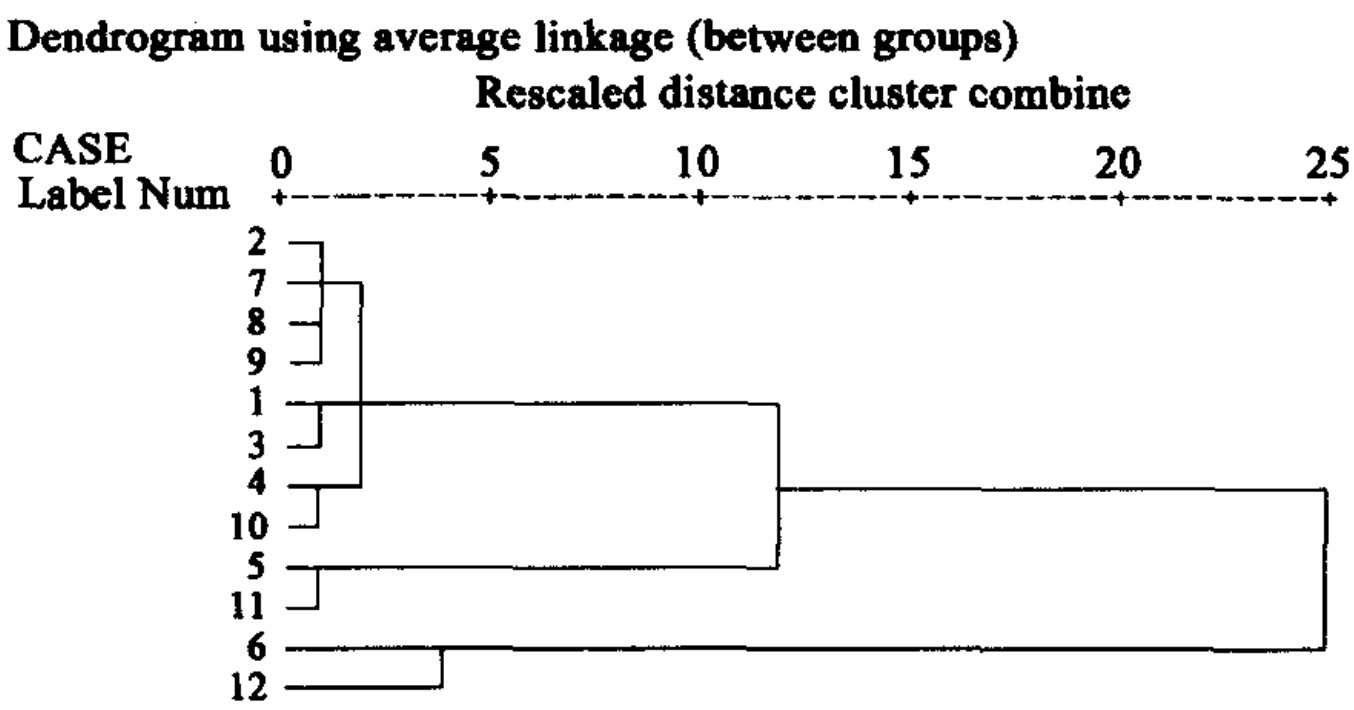


图 2 不同消毒处理土壤线虫群落的聚类图

Fig. 2 Cluster graph of soil nematodes community among treatments

代号 Code:1-甲基溴 MB(AF179), 2-甲基溴 MB + VIF(AF179), 3-威百亩 MS(AF179), 4-威百亩 MS+VIF(AF179), 5-太阳能 SS + BCA (AF179), 6-对照 CK (AF179), 7-甲基溴 MB (毛粉 Maofen), 8-甲基溴 MB+VIF(毛粉 Maofen), 9-威百亩 MS(毛粉 Maofen), 10-威百亩 MS+VIF(毛粉 Maofen), 11-太阳能 SS + BCA(毛粉 Maofen)、12-对照 CK(毛粉 Maofen)

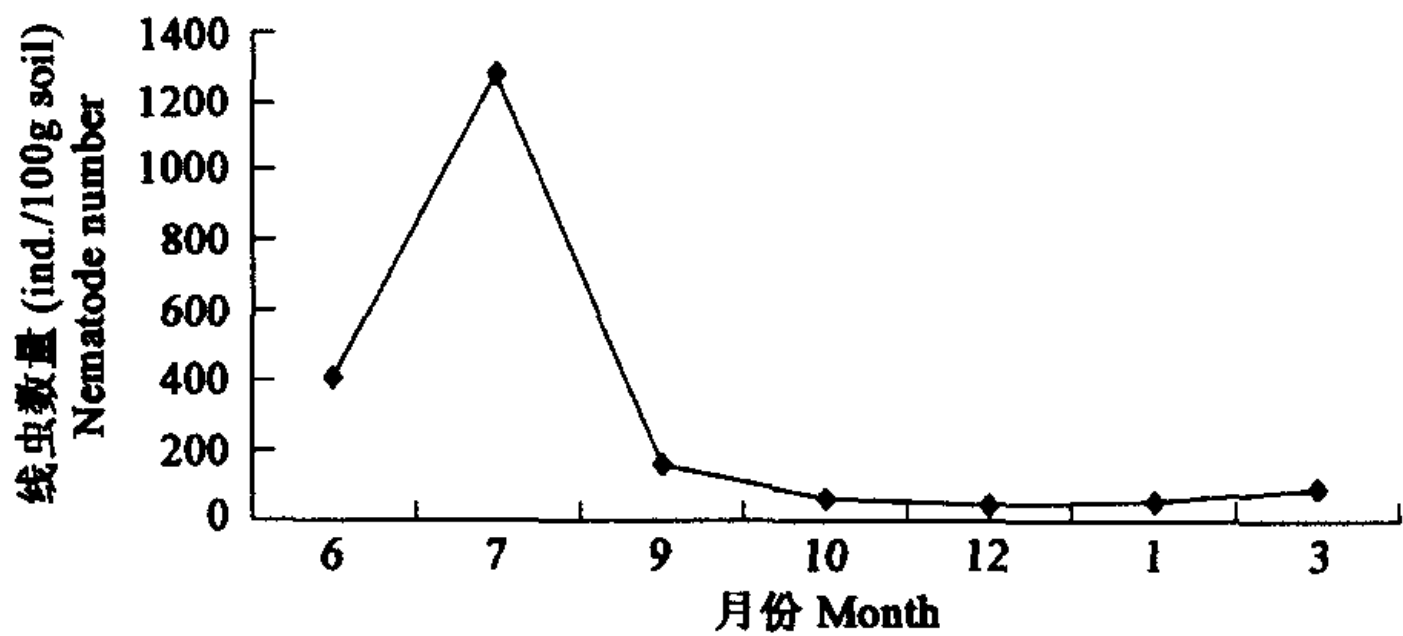


图 3 对照小区土壤线虫的数量(条/100g 土)动态

Fig. 3 Dynamics of nematodes number(100g soil)in CK plot

表 8 各处理土壤微生物量的比较 (μg C/g 土)

Table 8 Comparison of soil microbiomass among treatments(μg C/g soil)

时间 Time	对照 CK	太阳能+BCA SS+BCA	甲基溴 MB	甲基溴+VIF MB+VIF	威百亩 MS	威百亩+VIF MS+VIF
2001-09	235.7a	188.3ab	137.3b	171.6b	162.1b	156.5b
2001-10	246.9a	220.6a	170.0a	178.2a	175.1a	188.7a
2001-12	47.0a	42.6a	35.1a	35.8a	33.6a	39.8a
2002-01	58.1a	48.8a	34.8a	48.1a	46.1a	42.8a

表 9 土壤微生物量与食微生物线虫(条/100g 土)的相关性

Table 9 Correlation between soil microbiomass (μg C/g soil) and the number (100g soil) of nematodes feeding microorganisms

内容 Content	对照 CK	太阳能+BCA SS+BCA	甲基溴 MB	甲基溴+VIF MB+VIF	威百亩 MS	威百亩+VIF MS+VIF	r 值 r value
M1	140.09	117.72	92.54	107.13	97.4	101.58	$r(\text{M1}, \text{M2})=0.93^{**}$
M2	56	34	13	9	14	9	$r(\text{M3}, \text{M1})=0.90^{**}$
M3	4	3	1	1	0	0	
A1	136.58	115.49	90.41	101.6	100.98	100.39	$r(\text{A1}, \text{A2})=0.96^{**}$
A2	52	34	9	11	12	7	$r(\text{A3}, \text{A1})=0.87^{*}$
A3	3	3	0	1	0	0	

代号 Code: M-毛粉 Maofen, A-AF179, 1-微生物量碳 Microbiomass C, 2-食细菌线虫数 Bacterivores number, 3-食真菌线虫数 Fungivores number; ** $P<0.01$, * $P<0.05$, r 值为相关系数 r value is correlation coefficient

线虫种群波动特征不完全一致,可能与温室生产、管理等特殊条件有关,也可能由于温室小区面积较小、多次取土一定程度上影响了对线虫数量的准确调查。对此,有待作进一步的研究。

土壤微生物量碳在 4 个化学处理与对照间在土壤刚消毒后的 9 月份出现显著性差异,而随后几月均未出现明显差异。这说明土壤化学消毒对土壤微生物量有显著影响,但由于微生物的强烈增殖能力可促使消毒后的土壤微生物群落迅速恢复,以至于在生物总量上不再表现出消毒所带来的短暂差异。

土壤微生物量碳与食细菌和食真菌线虫的数量间均存在显著的正相关,这证实了后者与微生物间的食物链关系。土壤线虫数量及微生物量碳与土壤理化性质间的相关性不显著,表明这些环境因子对土壤线虫的作用可能是间接的和复杂的。

近年来,国外对土壤线虫的研究主要包括土壤线虫种的形态划分、功能(营养类群)划分和按发育阶段进行的年龄结构划分(成亚比)^[7],生态研究上突出线虫群落结构和数量与气候变化^[8]、植被条件^[9]、农艺措施^[9,10]、地形、土壤理化性状及作物产量的相关性,而且在土壤线虫方面的研究也比较深入,如采用种群的成熟度指数(MI)^[7,14]、卵密度作为品种抗性程度差异的指标^[10,12]、植物寄生指数(PPI)、食真菌线虫与食细菌线虫数量比(F/B)对群落优势种的确定和优势种对群落结构的差异性比较^[13]、土壤线虫与土壤 C 的循环转化关系^[6]等。但限于实验条件,只对 6 种消毒处理的土壤线虫群落作了初步调查和探讨。国外学者的这些研究为我国土壤线虫的未来研究提供了有益的参考和借鉴。

References:

- [1] Minuto A. Status of Methyl Bromide Alternatives for Soil Fumigation in Italy. Current status of application of methyl bromide and alternatives in China. Proceedings of workshop on "Towards the phase out of Methyl bromide; the Chinese and Italian experience". Beijing, 1~2 March 2001.
- [2] Cao A, Duan X, Zhang X, Guo M. Current status of application of methyl bromide and alternatives in China. Proceedings of workshop on "Towards the phase out of methyl bromide; the Chinese and Italian experience". Beijing, 1~2 March 2001. 23~27.
- [3] Liu W Z. *Research Technology in Phytophagous Nematode*. Shenyang: Scientific and Technological Press, Liaoning, 1995.
- [4] Liang W, Lavian I, Steinberger Y. Dynamics of nematode community composition in a potato field. *Pedobiologia*, 1999, **43**: 459~469.
- [5] Song X, Dong W. Study on the loss estimation of yield and the index for controlling the *Meloidogyne* spp. in peanut. *Plant Protection*, 1994, **21**(4): 311~315.
- [6] Yeates G W, Bongers T. nematode diversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1999, **74**: 113~115.
- [7] Bjornlund L, Vestergard M, Johansson S, et al. Nematode communities of natural and managed beech forests—A pilot survey. *Pedobiologia*, 2002, **46**(1): 53~62.
- [8] Sohlenius B. Influence of clear cutting and forest age on the nematode fauna in a Swedish pine forest soil. *Applied Soil Ecology*, 2002, **19**(3): 261~277.
- [9] Yeates G W. Effects of plants on nematode community structure. *Annual Review of Phytopathology*, 1999, **37**(1): 127~149.
- [10] Fu S, Kisselle K W, Coleman D C, et al. Short-term impacts of above ground herbivory (grasshopper) on the abundance and ¹⁴C activity of soil nematodes in conventional tillage and no-till agroecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, 2001, **33**(9): 1253~1258.
- [11] Lopez-Fando C, Bello A. Variability in soil nematode populations due to tillage and crop rotation in semi-arid Mediterranean agrosystems. *Soil and Tillage Research*, 1995, **36**(1~2): 59~72.
- [12] Chen S Y, Porter P M, Orf J H, et al. Soybean cyst nematode population development and associated soybean yields of resistant and susceptible cultivars in Minnesota. *Plant Disease*, 2001, **85**(7): 760~766.
- [13] Liang W, Mouratov S, Pinhasi-Adiv Y, et al. Seasonal variation in the nematode communities associated with two halophytes in a desert ecosystem. *Pedobiologia*, 2002, **46**(1): 63~74.
- [14] Bongers T. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, 1990, **83**: 14~19.

参考文献:

- [3] 刘维志. 植物线虫学研究技术. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1995.

表 10 土壤理化性质(消毒处理后)与土壤线虫数量及微生物量(消毒处理后到西红柿收获间 5 次土样均值)的相关性($P=0.05$)

Table 10 Correlation ($P=0.05$) between soil physicochemical characteristics (after fumigation) and nematodes number (100g soil, the mean of five samples after fumigation) and microbiomass ($\mu\text{g C/g soil}$, the mean of five samples after fumigation)

理化性质 Physicochemical characteristics	线虫数 (AF179) Nematodes	线虫数 (毛粉) Nematodes (Maofen)	微生物量 (AF179) Microbiomass	微生物量 (毛粉) Microbiomass (Maofen)
NH_4^+	-0.46	-0.50	-0.35	-0.38
NO_3^-	0.74	0.74	0.78	0.76
有机质 Organic matter	0.55	0.53	0.70	0.67
有效钾 Active K	-0.29	-0.28	-0.29	-0.35
有效磷 Active P	0.23	0.22	0.28	0.27
全钾 Total K	0.46	0.43	0.56	0.59
pH	-0.29	-0.32	-0.26	-0.31
全磷 Total P	-0.59	-0.58	-0.41	0.44
Ca^{2+}	0.34	0.33	0.42	0.43
Mg^{2+}	0.60	0.61	0.67	0.66
Na^+	0.24	0.22	0.21	0.27
Cl^-	0.43	0.40	0.85	0.85
阳离子交换量 CEC	-0.02	-0.04	0.28	0.27