DOI: 10.13802/j.cnki.zwbhxb.2016.04.024

棉隆与淡紫拟青霉联合防治番茄根结线虫病的效果评价

聂海珍[1]　孙漫红[1*]　李世东[1*]　钟增明[2]

(1. 中国农业科学院植物保护研究所, 农业部作物有害生物综合治理重点实验室, 北京 100081;
2. 北京启高生物科技有限公司, 北京 100081)

摘要: 为明确土壤熏蒸与生防微生物对番茄根结线虫病的联合作用效果,采用移栽前棉隆熏蒸处理后穴施淡紫拟青霉 *Paecilomyces lilacinus* YES-2-14 生防菌剂的方法在温室大棚开展了联合防治试验。结果表明,棉隆用量为 35 g/m^2 时,24 周拉秧时线虫数量减少 90% 以上,防效达到 85.5%;移栽时穴施浓度 10^7 ~ 10^8 CFU/g 的淡紫拟青霉菌剂,24 周拉秧时防效为 44.4% ~ 59.6%;而当线虫初始密度达到 674 头/100 g 土时,单一菌剂防效只有 12.5%,但番茄长势和产量显著提高。棉隆熏蒸后再联合施用淡紫拟青霉菌剂,2 个月和 5 个月时防效比单一棉隆处理分别提高 14.1% 和 21.8%,比单一菌剂处理提高 14.3 倍和 4.1 倍,产量较对照、棉隆熏蒸和单一菌剂处理分别提高 22.1%、9.5% 和 2.4%,且该处理地块线虫数量始终最低,与对照差异显著,而淡紫拟青霉数量则高于单一淡紫拟青霉菌剂处理。表明棉隆和淡紫拟青霉菌剂联合使用不仅能显著降低线虫数量,有效防治番茄根结线虫病,还能够促进植株生长并提高产量。

关键词: 生物防治; 淡紫拟青霉; 土壤熏蒸; 根结线虫

Integrated control of root-knot nematode disease of tomato by dazomet and *Paecilomyces lilacinus*

Nie Haizhen[1]　Sun Manhong[1*]　Li Shidong[1*]　Zhong Zengming[2]

(1. Key Laboratory of Integrated Pest Management in Crops, Ministry of Agriculture; Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. Beijing QiGao Biologics Co. Ltd., Beijing 100081, China)

Abstract: In order to study the integrated effect of fumigant and biocontrol agent on tomato root-knot nematode, dazomet and *Paecilomyces lilacinus* YES-2-14 was applied successively in protected greenhouse. When 35 g/m^2 of dazomet was used, the total number of nematodes in soil and on roots decreased by over 90% and the control efficiency reached 85.5% in 24 weeks after transplanting. For *P. lilacinus*, when applied in planting holes at concentrations of 10^7 - 10^8 CFU/g, the control efficacies were 44.4% - 59.6% in 24 weeks after transplanting. However, the effect of the nematophagous fungus was only 12.5% at a high density of 674 juveniles/100 g soil; nevertheless, the treatment significantly improved plant growth and tomato yield. After soil fumigation with dazomet, followed by application of *P. lilacinus* agent in planting holes, the control efficacies increased by 14.1% and 21.8% in two and five months, respectively, compared to dazomet treatment alone, and it increased by 14.3 and 4.1 times compared to the treatment with fungal agent alone; tomato yield increased by 22.1%, 9.5% and 2.4%

基金项目: 国家现代农业产业技术体系(CARS-25-B-02),国家科技支撑计划(2012BAD19B01)
* 通讯作者(Authors for correspondence), E-mail: sunmanhong2013@163.com, lisd@ieda.org.cn
收稿日期: 2014 - 12 - 05

compared to the control, dazomet and YES-2-14 treatments, respectively. Consistent with above observations, the number of nematodes was the least and significantly different from the control throughout the growing season, while the population of *P. lilacinus* in rhizosphere soil was greater than that of the single biocontrol treatment. The results demonstrated that the integrated use of dazomet and *P. lilacinus* could inhibit nematode density, enhance control efficacy to root-knot nematode effectively, and promote the growth and yield of plant.

Key words: biocontrol; *Paecilomyces lilacinus*; soil fumigation; root-knot nematode

全世界每年因植物寄生线虫造成的损失高达1 000亿美元,根结线虫 *Meloidogyne* sp. 是其中为害最严重的一类(Oka et al.,2000),几乎能侵染所有蔬菜作物。近年来,我国设施蔬菜种植面积迅速扩大,高密度单一种植和水肥强度增加导致根结线虫病日益加重,已成为该产业发展的主要障碍(程永等,2011)。根结线虫病的防治方法主要包括化学防治、生物防治和农业措施等,根据《蒙特利尔议定书哥本哈根修正案》,2015 年将全面禁用熏蒸剂溴甲烷(UNEP,2003)。棉隆高效低毒,能够有效控制土壤中根结线虫数量,抑制其对根系的侵染和根结的形成,同时对枯萎病等土传病害也有良好的防效,是较为可靠的溴甲烷替代品(刘霆等,2009;刘春艳等,2011)。但也有研究发现,该熏蒸剂重复使用会加速其有效成分异硫氰酸甲酯的降解,从而降低防效(Di Primo et al.,2003;Triky-Dotan et al.,2009)。且棉隆在土壤中的穿透能力较低,施用时必须和土壤充分混合且大量灌水才能充分发挥药效,否则易产生药害(Martin,2003)。

生物防治是根结线虫病长期有效防治的理想途径之一(Atkins et al.,2003;Morton et al.,2004)。淡紫拟青霉 *Paecilomyces lilacinus* 是一类重要的食线虫真菌,可以寄生根结线虫、胞囊线虫等多种植物病原线虫的卵和雌虫(Jatala,1986;Dube & Smart,1987;Khan et al.,2006)。且淡紫拟青霉能够产生细胞壁降解酶(Khan et al.,2004;Sharma et al.,2014),破坏线虫卵,降低孵化率,此外该菌还可以产生乙酸等杀线物质(Djian et al.,1991)和类似生长素和细胞分裂素的物质(Jatala,1986;刘杏忠等,1991;林茂松等,1999)。大量田间试验表明,该菌能够显著降低根结线虫数量和根结指数,提高作物产量(Jatala,1986;Dube & Smart,1987)。但由于受到土壤抑菌作用(孙漫红等,1997;黄英等,2006)和菌株自身定殖能力的影响,当线虫密度较高时,生防菌的作用效果有时并不稳定。

目前,国内外已有一些研究将土壤熏蒸剂与生防微生物结合使用以防治土传病害。Ślusarski & Pietr(2009)使用棉隆和棘孢木霉 *Trichoderma asperellum* 共同防治辣椒复合土传病害,防效明显且辣椒产量提高;Nagesh & Jan(2004)和顾真荣等(2006)先用棉隆处理土壤,再分别引入厚垣孢普可尼亚菌 *Pochonia chlamydosporia* 和枯草芽胞杆菌 *Bacillus subtilis*,均可显著提高生防菌的定殖水平。但目前关于土壤熏蒸剂和生防微生物联合防治根结线虫病的报道还较少。Freitas et al.(2000)将多种熏蒸剂和穿刺巴氏杆菌 *Pasteuria penetrans* 结合使用防治花生根结线虫病,发现除威百亩之外,其余熏蒸剂及其组合会抑制生防细菌的作用效果;而 Nagesh & Jan(2004)研究发现,采用棉隆、厚垣孢普可尼亚菌制剂以及印楝粕有机肥综合防治玫瑰花根结线虫病的防效最佳。本试验通过研究设施栽培条件下棉隆与淡紫拟青霉联合防治番茄根结线虫病的作用效果,尤其是高线虫密度下对线虫的作用和对番茄生长的影响,以期为设施蔬菜根结线虫有效治理和生防菌高效利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试药剂:98% 棉隆(dazomet)微粒剂,南通施壮化工有限公司。

供试菌株及番茄:淡紫拟青霉 YES-2-14 菌株,由本实验室分离自云南烟草根结线虫病株。番茄品种为中杂 9 号,由中国农业科学院蔬菜花卉研究所提供,该品种对根结线虫高度感病,育苗盘中播种,待长至 4 周时备用。试验在中国农业科学院植物保护研究所廊坊基地日光蔬菜大棚进行,土壤为砂壤,肥力均匀。为方便和准确进行熏蒸操作,将试验地用高 15 cm 的水泥墙分隔为 6.5 m×0.75 m 的小种植池。

培养基:淡紫拟青霉 YES-2-14 液体培养基:蔗糖 30 g、豆饼粉 10 g、$K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$ 1 g、$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.5 g、$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.01 g,加水至 1 000 mL, pH 6.0；马铃薯葡萄糖琼脂(potato dextrose agar, PDA)培养基：去皮马铃薯 200 g、葡萄糖 20 g、琼脂 18 g，加水至 1 000 mL；PDA 双抗培养基：PDA 培养基倒板前分别加入硫酸链霉素 0.1 g/L 和氨苄青霉素 0.1 g/L。

1.2 方法

1.2.1 淡紫拟青霉菌剂制备及病圃建立

淡紫拟青霉菌剂的制备：从培养 7 d 的 YES-2-14 PDA 平板上切取菌块接种到液体培养基中，27℃、180 r/min 振荡培养 3～4 d。发酵液以 8 000 r/min离心 5 min，收集菌体，加入等体积的草炭吸附，阴干、粉碎。平板稀释涂布，测定菌剂中活菌含量，使其浓度分别为 10^5、10^6、10^7 和 10^8 CFU/g。

试验病圃的建立：为保证各种植池线虫密度一致，首先用 70 g/m^2 棉隆对试验地进行消毒，然后从实验室前期建立的根结线虫病圃中收集病土，充分混合，均匀撒入各种植池中，用小型机动翻耕机均匀翻耕。试验前采用五点取样法采集土样，以离心漂浮分离法测定土壤中根结线虫初始密度，即 100 g 土中根结线虫的数量。

1.2.2 棉隆熏蒸防治根结线虫病

土壤消毒后接种线虫，测得初始线虫密度为 69 头/100 g 土。向种植池内分别加入 0、17.5、35 和 70 g/m^2 棉隆，用翻耕机将药剂与土壤充分翻耕均匀，翻耕深度 20～30 cm。灌水，使土壤含水量达到 30%左右，立即覆膜，用土将薄膜四周压实，避免气体外溢。10 d 后揭膜，晾晒，4～5 d 后再次翻耕，使土壤中毒气充分散尽，继续晾晒 5～6 d，移栽培育 4 周且长势一致的番茄幼苗，每个小区移栽 30 株。随机区组设计，3 次重复。采用五点取样法，番茄移栽后每隔 4 周从根围取 5～20 cm 土层样品，自然风干，过 20 目筛。称取 100 g 土样，离心漂浮分离法测定土壤中根结线虫的数量。收获期定期采摘称重，拉秧时统计番茄产量。

采用切根百分数法进行病害调查，每隔 4 周调查 1 次；拉秧时采用拔株百分数法调查(肖炎农等, 2000)，每处理随机调查 15 株，3 次重复。分级方法参照 Bridge & Page(1980)的标准并加以改进：0 级：根系健康，无根结；1 级：出现小根结，根结发生率小于 20%；2 级：侧根上一些相邻的小根结连接形成较大的根结，根结发生率为 20%～40%；3 级：部分主根上出现较大根结，根结发生率 50%左右；4 级：侧根不发达，主根上都出现较大根结，根结发生率 60%～80%；5 级：整个根系变粗畸形腐烂，无须根，根结发生率大于 80%。计算各处理不同时期的病情指数和防效。病情指数 = 100 × ∑(各级病株数 × 各级代表值)/(调查总株数 × 最高级代表值)，防效 = (对照病情指数 − 处理病情指数)/对照病情指数 × 100%。

1.2.3 淡紫拟青霉菌剂防治根结线虫病

试验地块消毒处理后接种线虫，测得土壤中根结线虫初始数量为 94 头/100 g 土。取长至 4 周的番茄幼苗移入种植池中，同时接种淡紫拟青霉菌剂。菌剂浓度分别为 10^5、10^6、10^7 和 10^8 CFU/g，用量为 10 g/穴，以吸附载体草炭为对照。采用完全随机区组设计，每处理 20 株番茄苗，重复 3 次。按 1.2.2 方法每隔 4 周调查病情和番茄株高，计算病情指数和防效。拉秧时统计番茄产量。

1.2.4 棉隆和淡紫拟青霉联合防治根结线虫病

在根结线虫病圃池内种植黄瓜，90 d 后拔掉，以增加土壤中线虫种群数量。翻耕，充分混合，测得土壤中根结线虫初始数量为 674 头/100 g 土。本试验共设 4 个处理：① 棉隆熏蒸(剂量 40 g/m^2)；② 淡紫拟青霉菌剂穴施(20 g/穴，菌剂浓度 1×10^7 CFU/g)；③ 棉隆 + 生防菌处理(40 g/m^2 棉隆熏蒸后，移栽时每穴施用 20 g 淡紫拟青霉菌剂)；④ 空白对照(病土中直接移栽番茄)。每处理 40 株苗，采用随机区组设计，3 次重复。每隔 30 d 调查病情和植株生长情况，60 d 和拉秧时采用拔根百分数法调查，其它时间采用切根百分数法调查，每处理调查 15 株，3 次重复。计算病情指数和防效，测量株高及地上部干重；并采用离心漂浮分离法测定土壤中根结线虫数量，PDA 双抗培养基上稀释涂布法测定生防菌数量。拉秧时统计番茄产量。

根据公式 logit $x = \ln(x/(1-x))$ 将不同处理的病情指数转化为逻辑斯蒂值，其中 x 代表病情指数；再利用线性回归法分析不同处理中番茄根结线虫病情指数的逻辑斯蒂值与累计时间的相关性，建立各处理的线性回归方程，以明确不同处理对推迟根结线虫病流行的作用。

1.3 数据分析

采用 SAS 9.1 软件对数据进行统计分析，土壤中生防菌数量差异分析采用 t 检验法，其余处理采用 Duncan 氏新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 棉隆熏蒸防治番茄根结线虫病

在接种线虫的土壤中栽种番茄后，根结线虫快速

增殖。24 周后,线虫密度(幼虫和卵)由起始的 69 头/100 g 土上升至 605 头/100 g 土,增殖 7.8 倍。棉隆熏蒸处理可有效控制根结线虫数量,3 个浓度处理的防效差异显著($P<0.05$)。低剂量(17.5 g/m^2)熏蒸处理的线虫数量比对照降低 70% 以上;相应病情指数下降 68.6%。当棉隆用量增至 35 g/m^2 时,土壤中和番茄根上根结线虫密度分别比对照减少 89.1% 和 91.6%,防效达到 85.5%。棉隆用量增至 70 g/m^2 时,拉秧时根结线虫密度远低于接种线虫的起始密度,防效达 94.9%;但对后期番茄生长有一定的抑制作用,产量比对照减少 13.0%(表 1)。表明番茄大棚种植中棉隆使用剂量以 35 g/m^2 为宜。

表 1 棉隆熏蒸对番茄根结线虫和番茄产量的影响

Table 1 Effects of dazomet on root-knot nematodes and tomato yield

棉隆浓度 Concentration (g/m^2)	土壤中线虫数 No. of nematodes in soil (J2 + eggs/100 g 土)	根上线虫数 No. of nematodes on root (eggs/g 根)	病情指数 Disease index	防效 Control efficacy (%)	产量 Yield (kg/m^2)
0.0	605 ± 327 a	1 371 ± 758 a	48.7 ± 7.0 a	—	4.6 ± 1.4 a
17.5	219 ± 100 ab	347 ± 243 b	15.6 ± 5.0 b	68.6 ± 6.2 c	4.6 ± 1.5 a
35.0	66 ± 16 b	115 ± 94 b	7.2 ± 3.0 c	85.5 ± 5.3 b	4.8 ± 1.6 a
70.0	15 ± 1 b	7 ± 5 b	2.7 ± 2.4 c	94.9 ± 4.6 a	4.0 ± 1.3 b

表中数据为平均数 ± 标准差。同列不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验差异显著($P<0.05$)。Data are mean ± SD. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

2.2 淡紫拟青霉菌剂防治番茄根结线虫病

淡紫拟青霉菌剂对番茄根结线虫病具有较好的防效。当菌剂穴施浓度为 $10^6 \sim 10^8$ CFU/g,8 周后番茄根结线虫病情指数降低 50% 以上,显著低于对照($P<0.1$);24 周拉秧时,防效均有所下降,穴施浓度为 $10^6 \sim 10^8$ CFU/g 处理的防效约为 44.4% ~ 59.6%。当菌剂浓度为 10^7 CFU/g 时,对番茄生长有较明显的促进作用($P<0.1$),产量也有一定程度的增加。但是穴施剂量过大时(10^8 CFU/g,用量 10 g),会对植株生长产生一定的抑制作用($P<0.1$)(表 2)。因而,选用 10^7CFU/g,用量 10 g/穴作为田间淡紫拟青霉菌剂的使用剂量。

表 2 淡紫拟青霉菌剂对番茄根结线虫病及番茄生长和产量的影响

Table 2 Effects of *Paecilomyces lilacinus* agent on root-knot nematodes and tomato growth and yield

菌剂浓度 Concentration (CFU/g)	8 周 8 weeks			24 周 24 weeks		
	病情指数 Disease index	防效 Control efficacy (%)	株高 Height (cm)	病情指数 Disease index	防效 Control efficacy (%)	产量 Yield (kg/m^2)
0	35.3 ± 16.0 a	—	96.6 ± 2.7 bc	43.6 ± 5.0 a	—	5.6 ± 0.7 ab
1×10^5	24.0 ± 0.0 ab	24.3 ± 34.3 b	100.9 ± 4.6 ab	39.1 ± 1.2 ab	9.8 ± 7.5 b	5.2 ± 0.8 ab
1×10^6	13.0 ± 7.0 b	53.9 ± 40.9 ab	101.6 ± 4.6 ab	29.3 ± 13.1 bc	34.1 ± 22.5 ab	5.4 ± 1.1 ab
1×10^7	12.0 ± 2.8 b	64.2 ± 8.2 a	103.5 ± 2.4 a	24.3 ± 4.0 c	44.4 ± 2.8 ab	6.0 ± 0.3 a
1×10^8	11.0 ± 1.4 b	64.3 ± 20.2 a	91.7 ± 5.2 c	17.3 ± 3.8 c	59.6 ± 13.5 a	4.7 ± 0.1 b

表中数据为平均数 ± 标准差。同列不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验差异显著($P<0.1$)。Data are mean ± SD. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.1$ level by Duncan's new multiple range test.

2.3 棉隆和淡紫拟青霉联合防治番茄根结线虫病

2.3.1 土壤中根结线虫及淡紫拟青霉数量动态变化

在试验设定的线虫高初始密度下(674 头/100 g 土),番茄生长前期(0 ~ 60 d),未熏蒸土壤中根结线虫种群数量较为稳定,但此后均有明显上升(图 1);而棉隆熏蒸处理后,土壤中线虫数量急剧下降,仅为初始数量的 2.7%,此后一直保持较低的水平,番茄移栽 90 d 后,线虫数量开始快速上升,但始终低于未熏蒸处理。番茄移栽 60 d 时单一淡紫拟青霉菌剂处理的土壤中根结线虫数量比对照降低 64.4%,在番茄生长中后期(60 ~ 120 d),土壤线虫数量明显低于对照($P<0.05$)。棉隆与淡紫拟青霉联合处理的地块,根结线虫种群数量最低,且在番茄整个生长和收获季始终显著低于对照($P<0.05$)。

对土壤中淡紫拟青霉种群数量监测显示,番茄生长前期淡紫拟青霉数量基本稳定,保持在一个较

高的水平。番茄移栽 60 d 后，真菌数量开始出现较明显的下降。但是棉隆熏蒸后再施用生防菌剂的土壤中，淡紫拟青霉数量始终高于单一生防菌剂处理。拉秧时，联合处理与单独施用生防菌处理的小区番茄根际土壤中淡紫拟青霉数量分别为 3 000 CFU/g 土和 835 CFU/g 土（$P=0.34$，t 检验）。

2.3.2 对根结线虫病防效及番茄生长和产量的影响

土壤中线虫初始密度达到674 头/100 g 土，采用棉隆熏蒸处理 5 个月拉秧时防效可达 50% 以上，而移栽时穴施淡紫拟青霉菌剂，防效只有 12.5%（表 3），说明在严重感病地块单一生防菌剂处理不能有效控制线虫为害，但对番茄生长表现出良好的促进作用，生长期株高和地上部干重显著高于对照（$P<0.05$），收获期产量也高于对照（$P<0.1$）。棉隆熏蒸后再施用淡紫拟青霉菌剂，2 个月和 5 个月时防效分别达到 79.5% 和 63.6%，较单一棉隆处理提高了 14.1% 和 21.8%，较单一菌剂处理提高了 14.3 倍和 4.1 倍，且产量较对照、单一棉隆处理和单一菌剂处理分别提高了 22.1%、9.5% 和 2.4%。说明棉隆和淡紫拟青霉菌剂联合使用可有效防治番茄根结线虫病，促进植株生长并提高产量。

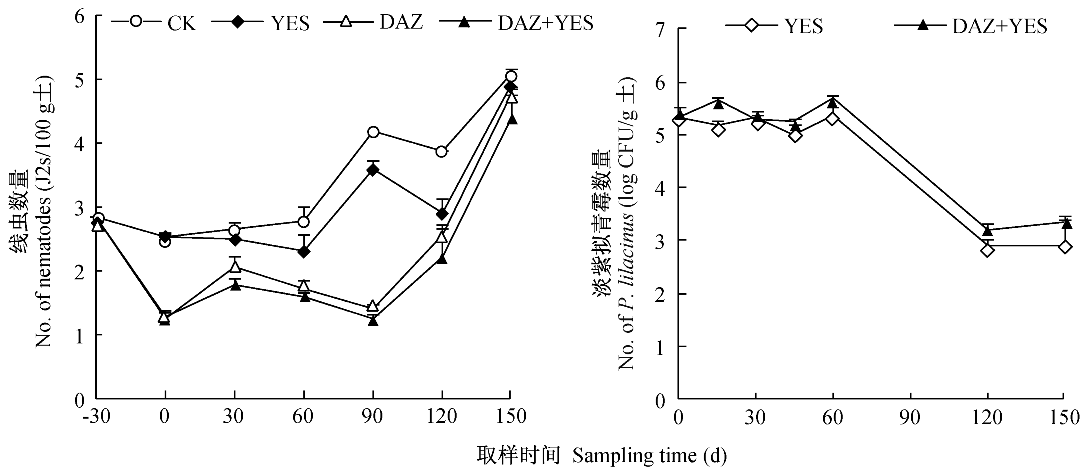

图 1　土壤中根结线虫和淡紫拟青霉种群定殖数量的变化

Fig. 1　Population of root-knot nematodes and *Paecilomyces lilacinus* in tomato rhizosphere

图中数据为平均数 ± 标准差。CK：对照；YES：淡紫拟青霉 YES-2-14 菌株；DAZ：棉隆；DAZ + YES：棉隆 + 淡紫拟青霉 YES-2-14 菌株。Data in the figure are mean ± SD. CK：Control；YES：*P. lilacinus* YES-2-14 strain；DAZ：dazmet；DAZ + YES：dazmet + *P. lilacinus* YES-2-14 strain.

表 3　棉隆和淡紫拟青霉菌剂联合使用对番茄根结线虫病及番茄生长和产量的影响

Table 3　Control efficacy of dazomet combined with *Paecilomyces lilacinus* agent against root-knot nematodes and their effects on tomato growth and yield

处理 Treatment	60 d				150 d		
	病情指数 Disease index	防效 Control efficacy (%)	株高 Plant height (cm)	地上部干重 Shoot dry weight (g/株)	病情指数 Disease index	防效 Control efficacy (%)	产量 Yield (kg/m^2)
棉隆 Dazomet	18.4 ± 18.3 b	69.7 ± 7.6 a	93.8 ± 6.6 ab	23.3 ± 1.4 b	47.8 ± 4.5 b	52.2 ± 4.1 a	11.6 ± 0.8 ab
生防菌 YES-2-14	56.0 ± 20.5 a	5.2 ± 9.0 b	99.3 ± 4.7 a	30.2 ± 2.6 a	87.5 ± 0.0 a	12.5 ± 4.5 b	12.4 ± 1.2 a
棉隆 + 生防菌 Dazomet + YES-2-14	13.3 ± 9.0 b	79.5 ± 8.6 a	103.9 ± 8.4 a	29.4 ± 1.2 a	36.4 ± 4.1 b	63.6 ± 16.7 a	12.7 ± 0.4 a
对照 CK	59.7 ± 8.3 a	—	85.6 ± 7.9 b	20.5 ± 1.2 b	100.0 ± 16.7 a	—	10.4 ± 1.7 b

表中数据为平均数 ± 标准差。同列中不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 和 $P<0.1$（产量）水平差异显著。Data are mean ± SD. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ or $P<0.1$ (yield) level by Duncan's new multiple range test.

2.3.3 对推迟病害流行的作用

将各处理植株病情指数的逻辑斯蒂值(y)与累计时间(t)建立回归方程(表4),推算出联合处理及棉隆熏蒸处理中病情指数达到50所需的时间均超过6个月,相比对照推迟了4个月,表明这2种防治措施在番茄生长季内均可有效控制根结线虫病的流行。

表4 根结线虫病病情指数的逻辑斯蒂值(y)与累计时间(t)的线性回归方程

Table 4 Linear regression equation of logit x (y) and cumulative time (t) for tomato root-knot nematodes

处理 Treatment	回归方程 Equation of regression	相关系数 R^2 Correlation coefficient	时间 Time (d)
棉隆 Dazomet	$y=0.0159t-2.9431$	0.6732	185
生防菌 YES-2-14	$y=0.0207t-1.472$	0.8686	71
棉隆+生防菌 Dazomet + YES-2-14	$y=0.0193t-3.588$	0.8358	186
对照 CK	$y=0.016t-1.0294$	0.7671	64

表中时间指病情指数达到50所需的时间,即$y=0$时的t值。Duration when disease index reaches 50 (t value when $y=0$).

3 讨论

土壤熏蒸和生物防治是控制根结线虫等植物土传病害的重要手段,并且在田间应用中取得了良好的效果。本试验测定了设施栽培条件下棉隆和淡紫拟青霉菌剂对番茄根结线虫病的联合防治作用,证明通过棉隆熏蒸,能够快速杀灭土壤中的根结线虫,有效减少初侵染来源。Eo & Park(2014)研究发现,棉隆熏蒸12周后土壤中线虫数量才开始缓慢恢复。本试验中采用35 g/m^{2}棉隆处理,24周收获时土壤中根结线虫数量仅为对照的10.9%。Wang et al.(2005)研究发现,棉隆熏蒸过程中其有效成分异硫氰酸甲酯挥发到空气中会对附近裸根苗木造成一定的药害;且棉隆在土壤中不易扩散,因而其药效强弱与含水量和温度等土壤环境条件密切相关(Ruzo, 2006)。本研究中熏蒸试验安排在11月进行,气温较低,使用高剂量(70 g/m^2)的棉隆处理对番茄的生长和产量产生了一定的抑制作用。为避免对植株产生毒性,在下一步土壤消毒过程中,提高了棉隆熏蒸处理的温度,并大幅延长了敞气时间。

当前,生物防治在绿色蔬菜生产中发挥了越来越重要的作用。应用生防菌剂不仅可以延迟土传病害的发生、发展,有效降低病害的危害,提高产量和品质,而且具有明显的后效作用。王昌家等(1997)研究发现,在不重复添加生防菌的情况下,淡紫拟青霉菌剂对线虫的防效在第2、3年仍然可以达到7.3%~37.7%;Dube & Smart(1987)也发现,施用淡紫拟青霉后第1茬大豆和第2茬豌豆的产量较对照分别提高了172%和218%,表明生防菌对后茬作物仍然具有显著影响。在本研究高线虫密度下,应用淡紫拟青霉菌剂处理对根结线虫的后期(150 d)防效比生长前期(60 d)提高了140.4%,表明生防菌后期作用增强,应用生防菌剂可以持续发挥作用。

但是,由于环境条件复杂,生防菌剂在田间应用中有时会出现防效不稳定的情况(Guetsky et al., 2001; Ślusarski & Pietr, 2009)。本试验研究了不同线虫密度下生防菌的田间应用效果,表明在通常线虫密度下(94头/100 g土),生防效果较为稳定,不同浓度菌剂处理间虽然存在一定差别,但差异不显著;而在根结线虫严重感染的地块(如初始密度达到674头/100 g土),穴施淡紫拟青霉菌剂很难有效控制其发生和为害。因此,如何提高生物防治的效果和稳定性也是生防应用中一个重要的研究内容。田甜等(2014)研究发现,前期棉隆熏蒸处理能够显著提高生防真菌粉红螺旋聚孢霉 *Clonostachys rosea* 对黄瓜枯萎病的防效;Huang et al.(2014)将生防真菌总状共头霉 *Syncephalastrum racemosum* 与杀线虫剂阿维菌素结合使用,明显降低了根结线虫数量和病害严重度。本研究首先采用高效低毒熏蒸剂棉隆处理土壤,然后在移栽时穴施淡紫拟青霉菌剂,结果显示,与单一施用淡紫拟青霉处理相比,拉秧时土壤中根结线虫数量降低了62.5%,对病害的防效提高了4.1倍,并且病情指数达到50的时间推迟了115 d,表明联合处理能够显著降低根结线虫数量,提高防效并推迟病害流行。Martin(2003)曾提出将亚致死量的熏蒸剂与生防微生物联合使用,Ślusarski & Pietr(2009)将25 g/m^{2}棉隆与生防真菌棘孢木霉联合使用,实现了对辣椒上复合土传病害的有效控制。下一步可以考虑棉隆减量后与淡紫拟青霉菌剂联合使用,以及联合处理对后茬的防治作用,在保证防效的基础上,减少化学药剂用量,降低环境污染和生产成本。

参 考 文 献 (References)

Atkins SD, Hidalgo-Diaz L, Kalisz H, Mauchline TH, Hirsch PR, Kerry BR. 2003. Development of a new management strategy for the control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in organic vegetable production. Pest Management Science, 59 (2): 183 - 189

Bridge J, Page SLJ. 1980. Estimation of root-knot nematode infestation levels on roots using a rating chart. Tropical Pest Management, 26(3): 296 - 298

Cheng Y, Gao DL, Miao JQ, Liu F. 2011. Root-knot nematode species, host plants and sensitivity to commonly-used nematicides in Shandong Province. Journal of Plant Protection, 38 (5): 461 - 465 (in Chinese) [程永, 高德良, 苗建强, 刘峰. 2011. 山东省植物根结线虫鉴定、危害植物种类及药剂敏感性检测. 植物保护学报, 38(5): 461 - 465]

Di Primo P, Gamliel A, Austerweil M, Steiner B, Beniches M, Pereta-Alon I, Katan J. 2003. Accelerated degradation of metam-sodium and dazomet in soil: characterization and consequences for pathogen control. Crop Protection, 22 (4): 635 - 646

Djian C, Pijarowski L, Ponchet M, Arpin N, Favre-Bonvin J. 1991. Acetic acid: a selective nematicidal metabolite from culture filtrates of *Paecilomyces lilacinus* (Thom) Samson and *Trichoderma longibrachiatum* Rifai. Nematologica, 37(1): 101 - 112

Dube B, Smart GC Jr. 1987. Biological control of *Meloidogyne incognita* by *Paecilomyces lilacinus* and *Pasteuria penetrans*. Journal of Nematology, 19(2): 222 - 227

Eo J, Park KC. 2014. Effects of dazomet on soil organisms and recolonisation of fumigated soil. Pedobiologia, 57(3): 147 - 154

Freitas LG, Dickson DW, Mitchell DJ, Hewlett TE. 2000. Infectivity and suppression of *Pasteuria penetrans* to *Meloidogyne arenaria* race 1 in tomato following soil fumigation. Nematologia Brasileira, 24(2): 157 - 166

Gu ZR, Cheng HB, Ma CZ, Wei CM, Chen W. 2006. The multiplication of *Bacillus subtilis* G3^{str} in the soil fumigated with organic-sulfur fumigant and its inhibition against phytopathogenic fungi. Chinese Journal of Biological Control, 22(3): 202 - 206 (in Chinese) [顾真荣, 程洪斌, 马承铸, 魏春妹, 陈伟. 2006. 枯草芽孢杆菌 G3^{str} 菌株在有机硫熏蒸土壤中的繁殖及其对病原真菌的抑制作用. 中国生物防治学报, 22(3): 202 - 206]

Guetsky R, Shtienberg D, Elad Y, Dinoor A. 2001. Combining biocontrol agents to reduce the variability of biological control. Phytopathology, 91(7): 621 - 627

Huang WK, Sun JH, Cui JK, Wang GF, Kong LA, Peng H, Chen SL, Peng DL. 2014. Efficacy evaluation of fungus *Syncephalastrum racemosum* and nematicide avermectin against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* on cucumber. PLoS ONE, 9 (2): e89717

Huang Y, Mo MH, Zhang KQ. 2006. Annulment and mechanism analysis of soil fungistasit. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 19(2): 206 - 210 (in Chinese) [黄英, 莫明和, 张克勤. 2006. 土壤抑菌作用的解除及机理探索. 西南农业学报, 19(2): 206 - 210]

Jatala P. 1986. Biological control of plant-parasitic nematodes. Annual Review of Phytopathology, 24: 453 - 489

Khan A, Williams KL, Nevalainen HKM. 2004. Effects of *Paecilomyces lilacinus* protease and chitinase on the eggshell structures and hatching of *Meloidogyne javanica* juveniles. Biological Control, 31(3): 346 - 352

Khan A, Williams KL, Nevalainen HKM. 2006. Control of plant-parasitic nematodes by *Paecilomyces lilacinus* and *Monacrosporium lysipagum* in pot trials. Biocontrol, 51(5): 643 - 658

Lin MS, Shen JD, Wen L, Zhang KY. 1999. Bioassay of metabolic products of *Paecilomyces lilacinus* and analysis of its physiologically active substance. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 15(4): 226 - 228 (in Chinese) [林茂松, 沈纪冬, 文玲, 张克云. 1999. 淡紫拟青霉代谢产物生物测定和生理活性物质分析. 江苏农业学报, 15(4): 226 - 228]

Liu CY, Wang WL, Huo JF, Hao YJ, Wang Y. 2011. Field efficacy of dazomet 98% MG on cucumber root-knot nematode. Northern Horticulture, (23): 128 - 130 (in Chinese) [刘春艳, 王万立, 霍建飞, 郝永娟, 王勇. 2011. 98% 棉隆微粒剂防治黄瓜根结线虫田间药效试验. 北方园艺, (23): 128 - 130]

Liu T, Duan WJ, Liu WC, Liu XZ, Qiu JY, Lu CG, Liu DW. 2009. Effect of dazomet DP on the tomato root knot nematode. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 37 (23): 11054 - 11055 (in Chinese) [刘霆, 段维军, 刘伟成, 刘杏忠, 裘季燕, 卢彩鸽, 刘德文. 2009. 大扫灭粉剂防治番茄根结线虫研究. 安徽农业科学, 37(23): 11054 - 11055]

Liu XZ, Luo K, Zhang QW. 1991. A preliminary bioassay of some physiological activities of fermentative filtrates of *Paecilomyces lilacinus*. Acta Agriculturae Universitatis Pekinensis, 17 (2): 48, 68 (in Chinese) [刘杏忠, 罗科, 张青文. 1991. 淡紫拟青霉发酵液生理活性的初步鉴定(简报). 北京农业大学学报, 17(2): 48, 68]

Martin FN. 2003. Development of alternative strategies for management of soilborne pathogens currently controlled with methyl bromide. Annual Review of Phytopathology, 41: 325 - 350

Morton OC, Hirsch PR, Kerry BR. 2004. Infection of plant parasitic nematodes by nematophagous fungi—a review of the application of molecular biology to understand infection processes and to improve biological control. Nematology, 6(2): 161 - 170

Nagesh M, Jan AT. 2004. Root-knot nematode problem in polyhouse roses and its management using dazomet, neem cake and *Pochonia chlamydosporia* (*Verticillium chlamydosporium*). Journal of Ornamental Horticulture, 7(2): 147 - 152

Oka Y, Koltai H, Bar-Eyal M, Mor M, Sharon E, Chet I, Spiegel Y. 2000. New strategies for the control of plant-parasitic nematodes. Pest Management Science, 56(11): 983 - 988

Ruzo LO. 2006. Physical, chemical and environmental properties of selected chemical alternatives for the pre-plant use of methyl bromide as soil fumigant. Pest Management Science, 62(2): 99 - 113

Sharma A, Sharma S, Yadav S, Naik SN. 2014. Role of Karanja deoiled cake based medium in production of protease and fatty acids by *Paecilomyces lilacinus* 6029. Journal of Bioscience and Bioengineering, 118(3): 270 - 271

Ślusarski C, Pietr SJ. 2009. Combined application of dazomet and *Trichoderma asperellum* as an efficient alternative to methyl bromide in controlling the soil-borne disease complex of bell pepper. Crop Protection, 28(8): 668 - 674

Sun MH, Liu XZ, Tang L. 1997. Fungistatic effect of soils on nematophagous fungi and their preparations. Mycosystema, 16(2): 149 - 154 (in Chinese)[孙漫红, 刘杏忠, 唐霖. 1997. 土壤抑菌作用对食线虫真菌及其制剂的影响. 菌物系统, 16(2): 149 - 154]

Tian T, Sun MH, Li SD. 2014. Management of cucumber *Fusarium* wilt via combinative application of dazomet and *Clonostachys rosea* 67-1. Chinese Journal of Biological Control, 30(4): 503 - 510 (in Chinese)[田甜, 孙漫红, 李世东. 2014. 棉隆与粉红螺旋聚孢霉67-1 协同防治黄瓜枯萎病的研究. 中国生物防治学报, 30(4): 503 - 510]

Triky-Dotan S, Austerweil M, Steiner B, Pereta-Alon Y, Katan J, Gamliel A. 2009. Accelerated degradation of metam-sodium in soil and consequences for root-disease management. Phytopathology, 99(4): 362 - 368

UNEP. 2003. 2002 Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee (MBTOC). Nairobi: UNEP, pp. 43 - 60

Wang CJ, Song CY, Zhang XD, Xie YQ, Liu XZ, Wang MZ. 1997. Sustainable control efficacy of *Paecilomyces lilacinus* against *Heterodera glycines*. Chinese Journal of Biological Control, 13(1): 26 - 28 (in Chinese)[王昌家, 宋超英, 张新德, 谢云清, 刘杏忠, 王明祖. 1997. 淡紫拟青霉菌料防治大豆孢囊线虫的后效研究. 中国生物防治, 13(1): 26 - 28]

Wang D, Juzwik J, Fraedrich SW, Spokas K, Zhang Y, Koskinen WC. 2005. Atmospheric emissions of methyl isothiocyanate and chloropicrin following soil fumigation and surface containment treatment in bare-root forest nurseries. Canadian Journal of Forest Research, 35(5): 1202 - 1212

Xiao YN, Wang MZ, Fu YP, Zeng FT. 2000. Comparison of different methods to estimate root-knot nematode disease grade. Journal of Huazhong Agricultural University, 19(4): 336 - 338 (in Chinese)[肖炎农, 王明祖, 付艳平, 曾凡涛. 2000. 蔬菜根结线虫病情分级方法比较. 华中农业大学学报, 19(4): 336 - 338]

(责任编辑:李美娟)