

玫瑰黄链霉菌对根结线虫的防效及对土壤微生物区系的影响

乔丹娜¹ 张艳杰¹ 李华义¹ 沈凤英^{1,2} 李珍珍^{1,3} 刘大群^{1*} 李亚宁^{1*}

(¹河北农业大学植物保护学院, 河北省农作物病虫害生物防治工程技术研究中心, 国家北方山区农业工程技术研究中心, 河北保定 071001; ²河北北方学院, 河北张家口 075000; ³河北省邢台市农业局, 河北邢台 054001)

摘要: 利用玫瑰黄链霉菌 Men-myc-93-63 菌株的固、液体发酵物防治设施番茄和黄瓜根结线虫, 研究其对根结线虫的防效以及施用生防菌对土壤微生物区系的影响。结果表明: Men-myc-93-63 菌株固体发酵物 1 V: 200 V 对黄瓜和番茄根结线虫病的防效分别达到了 65.62% 和 57.69%; 施用生防菌使得植株根际土壤中细菌数量增加了 19.57%, 放线菌数量增加了 316.67%, 真菌数量降低了 28.57%, 以上 3 种可培养微生物总量由 $7.4 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ 增加到 $16.75 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$, 增加了 126.35%。

关键词: 玫瑰黄链霉菌; Men-myc-93-63 菌株; 根结线虫; 防效; 土壤微生物

根结线虫近年来在设施蔬菜生产中普遍发生, 尤其是设施番茄和设施黄瓜, 于植株根部产生根结, 严重影响植株生长并导致产量损失, 甚至绝产。另外, 根结线虫的侵入, 同时也改变了土壤微生物区系的结构, 一般会使土壤中细菌和放线菌数量降低, 真菌数量升高(许华等, 2010)。蔬菜上以南方根结线虫 (*Meloidogyne incognita*)、北方根结线虫 (*M. hapla*)、花生根结线虫 (*M. arenaria*) 和爪哇根结线虫 (*M. javanica*) 为主, 其中最主要的是南方根结线虫(李洪涛等, 2006)。目前生产上多使用噻唑膦等化学药剂进行防治, 虽然能有效降低病情, 但也产生了破坏土壤生态环境、药效残留等问题。因此, 生物防治已经越来越受到人们的

重视。成飞雪等(2012)在田间施用对线虫有毒杀作用的光合细菌 PSB-1 菌株和芽孢杆菌 YC-10 菌株, 降低了黄瓜根际根结线虫 J2 虫口密度, 减少根结的形成, 促进了植株生长。温丹等(2011)通过盆栽试验研究了松杉树皮、玉米秸秆堆肥对番茄根结线虫发病情况及土壤微生物的影响, 发现松杉树皮、玉米秸秆堆肥对番茄根结线虫病具有一定的防治效果, 同时增加了番茄的生物量及土壤微生物数量。

玫瑰黄链霉菌 (*Streptomyces roseoflavus*) Men-myc-93-63 菌株是从马铃薯疮痂病自然衰退土壤中分离到的对多种病原菌具有抑制作用的拮抗菌。在室内及田间试验中, 该菌株及其发酵液对棉花黄萎病菌 (*Verticillium dahliae*) (刘大群等, 1999)、番茄灰霉病菌 (*Botrytis cinerea*) (魏艳敏等, 2000)、马铃薯疮痂病菌 (*Streptomyces scabies*) (Liu et al., 2000)、黄瓜白粉病菌 (*Sphaerotheca fuliginea*) (郭敬华, 2007) 等多种重要植物病原菌表现出强烈的抑制作用。魏学军(2004)证实该菌株发酵液对蔬菜根结线虫具有抑制作用; 武志朴(2005)研究表明该菌株发酵液能很好的防治甘薯茎线虫。

乔丹娜, 女, 硕士研究生, 专业方向: 植物病害生物防治, E-mail: qiaodanna_2012@163.com

* 通讯作者 (Corresponding authors): 李亚宁, 女, 教授, 博士生导师, 专业方向: 植物病害生物防治, E-mail: yaning22@163.com; 刘大群, 男, 教授, 博士生导师, 专业方向: 植物病理学, E-mail: ldq@hebau.edu.cn

收稿日期: 2014-01-16; 接受日期: 2014-02-24

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31171894), 国家高新技术研究与
发展计划 (863) 项目 (2011AA10A205), 河北省自然科学基金项目
(C2011204114)

本试验利用 Men-myco-93-63 菌株的固、液体发酵物防治设施番茄和黄瓜根结线虫, 研究生防菌的施用对根际土壤微生物区系的影响, 寻找其中的变化规律, 探讨利用玫瑰黄链霉菌生防菌防治根结线虫的作用机理。

1 材料与方法

1.1 材料

供试 Men-myco-93-63 菌株由河北农业大学生物防治实验室保存。供试黄瓜品种为津优 1 号, 番茄品种为金鹏 10 号。

1.2 Men-myco-93-63 菌株固、液体发酵物的制备

参照张艳杰等 (2013) 的方法制备 Men-myco-93-63 菌株的固、液发酵物, 4 ℃ 保存备用。

1.3 田间试验设计

田间药效试验于 2013 年 3~12 月在河北省定州市西南合村根结线虫发生严重的同一个蔬菜大棚的两茬作物上进行, 第一茬种植黄瓜, 第二茬种植番茄, 两茬作物处理方法相同且各处理地块位置不变, 均采用完全随机区组设计。黄瓜于 3 月 19 日定植, 番茄于 8 月 17 日定植。定植前半个月施用农家肥作底肥, 定植前起垄。各处理如下。

处理 I: 清水灌根; 处理 II: Men-myco-93-63 菌株发酵液 5 倍稀释液灌根; 处理 III: Men-myco-93-63 菌株发酵液 10 倍稀释液灌根; 处理 IV: Men-myco-93-63 菌株发酵液 20 倍稀释液灌根; 处理 V: Men-myco-93-63 菌株固体发酵物: 病土 = 1 V: 200 V; 处理 VI: Men-myco-93-63 菌株固体发酵物: 病土 = 1 V: 400 V; 处理 VII: 10% 噻唑膦农药处理。

其中, 处理 I、II、III、IV 每隔 15 d 施用 1 次, 共 3 次, 每次施用量为 100 mL · 株⁻¹; 处理 V、VI 于定植前撒施并旋耕, 共施用 1 次; 处理 VII 于定植前撒施并旋耕, 共施用 1 次, 施用量为 1.5 kg · (667 m²)⁻¹。

1.4 田间调查项目

前茬黄瓜于 3 月 19 日定植, 7 月 6 日清棚, 定植施药前取 1 次土样; 定植后土样采集时间分别为 4 月 8 日、4 月 25 日、5 月 16 日、6 月 13 日和 7 月 6 日。7 月 6 日清棚后, 高温闷棚 1 个多月。后茬番茄于 8 月 17 日定植, 定植施药前取土样 1 次;

定植后土样采集时间分别为 8 月 30 日、9 月 13 日、9 月 24 日、10 月 10 日和 11 月 28 日。采用 5 点取样法, 对各处理植株根际 0~25 cm 深的土样进行采集, 装入无菌密封袋, 室内检测根结线虫和可培养细菌、真菌及放线菌的数量。

施药后 3 个月分别调查黄瓜和番茄的株高、茎粗、第 1 节间长, 以及番茄产量等指标。

在作物收获期末, 调查根结线虫病害等级。根据根结的多少, 病情分级标准为: 0 级, 无根结; 1 级, 根结占根系的 25% 以下; 2 级, 根结占根系的 26%~50%; 3 级, 根结占根系的 51%~75%; 4 级, 根结占根系的 75% 以上。

$$\text{根结指数} = \frac{\sum(\text{各级植株数} \times \text{该级代表值})}{\text{调查总株数} \times \text{最高级代表值}} \times 100$$

$$\text{相对防效}(\%) = \frac{\text{对照根结指数} - \text{处理根结指数}}{\text{对照根结指数}} \times 100\%$$

1.5 土壤中根结线虫的分离

在预备试验中, 随机挑取利用过筛法从土壤样本中分离的具有口针的线虫, 经鉴定为根结线虫, 因此土壤中根结线虫的计数是观察具有口针的线虫。

植株根际土壤样品中的根结线虫, 采用过筛法进行分离 (刘维志, 2004): 称取土样 100 g, 放入 5 L 的量杯中, 加水充分搅拌, 静止 3 min 后倒入上层为 180 目下层为 500 目的套筛, 冲洗量杯的水仍通过套筛过滤, 充分过滤后, 收集 500 目筛上的线虫, 定容至 150 mL, 显微镜下计数具有口针的线虫数量, 即为根结线虫的数量。

1.6 土壤微生物检测

取 250 mL 三角瓶, 加入 90 mL 蒸馏水及玻璃珠, 灭菌后冷却, 加入土样 10 g, 即得到土壤的 10 倍稀释液, 28 ℃、160 r · min⁻¹、恒温培养 24 h, 用无菌水分别配置稀释度为 1 × 10⁻²、1 × 10⁻³、1 × 10⁻⁴ 的土壤悬浮液。吸取 20 μL 稀释度为 1 × 10⁻³ 或 1 × 10⁻⁴ 的土壤悬浮液涂平板, 检测可培养微生物的数量。

采用牛肉膏蛋白胨培养基检测细菌数量, 涂平板 1 d 后计数细菌菌落数; 采用马丁-孟加拉红培养基筛选真菌, 涂平板 5 d 后计数真菌菌落数; 采用高氏 1 号合成培养基 (临用时, 每 300 mL 培养基加 1 mL 3% 重铬酸钾) 筛选放线菌 (赵斌和何绍

江, 2002), 涂平板 5 d 后计数放线菌菌落数。

2 结果与分析

2.1 Men-myco-93-63 菌株发酵物对黄瓜生长的影响及对根结线虫的防效

Men-myco-93-63 菌株发酵物各处理的黄瓜株高和茎粗都较农药处理和清水对照高, 其中, 发酵液 5 倍稀释液处理与对照差异显著。而除固体发酵物 1 V: 200 V 处理之处, Men-myco-93-63 菌株发酵物各处理的第一节间长与对照处理无明显差异, 但比农药处理高, 且差异显著, 说明 Men-myco-93-63 菌株发酵物对黄瓜具有一定促生作用 (表 1)。在黄瓜生长末期, 对照根部出现明显的

根结, 且成串生长 (图 1), 发病程度 0~4 级不等, 且 3、4 级居多, 病情指数达 72.72。施用 10% 噻唑膦农药具有明显的防治效果, 根结很少, 病情指数为 6.67, 防效达 90.82%。Men-myco-93-63 菌株发酵物各处理的病情指数显著低于对照, 说明玫瑰黄链霉菌 Men-myco-93-63 对根结线虫具有明显的防治作用, 但由于环境等因素对生防菌的影响, 其药效低于农药处理, 其中固体发酵物 1 V: 200 V 的防效最好, 达 65.62%, 根结发生较轻 (图 1)。发酵液 5 倍稀释液、10 倍稀释液、固体发酵物 1 V: 400 V 的防效也都在 40% 以上, 而发酵液 20 倍稀释液的相对防效只有 26.66% (表 1), 说明玫瑰黄链霉菌 Men-myco-93-63 菌株固体发酵物具有较好的防

表 1 玫瑰黄链霉菌 Men-myco-93-63 菌株发酵物对黄瓜生长的影响及对根结线虫的防效

处理		株高/m	茎粗/mm	第 1 节间长/cm	病情指数	相对防效/%
Men-myco-93-63 菌株发酵液	5 倍稀释液	3.383 a	9.531 ab	6.633 ab	38.33 d	47.29
	10 倍稀释液	3.206 ab	8.954 bc	6.532 ab	40.00 c	44.99
	20 倍稀释液	3.289 ab	9.583 ab	6.400 ab	53.33 b	26.66
Men-myco-93-63 菌株固体发酵物	1 V: 200 V	3.252 ab	9.753 a	6.143 bc	25.00 f	65.62
	1 V: 400 V	3.210 ab	8.988 bc	6.553 ab	30.00 e	58.74
10% 噻唑膦		3.081 b	7.564 d	5.747 c	6.67 g	90.82
清水 (CK)		3.058 b	8.624 c	6.893 a	72.72 a	—

注: 表中同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($\alpha=0.05$), 下表同。



图 1 玫瑰黄链霉菌 Men-myco-93-63 菌株发酵物 1 V: 200 V 对黄瓜根结线虫病的防效

a, 清水 (CK); b, Men-myco-93-63 菌株固体发酵物 1 V: 200 V; c, 10% 噻唑膦。

效, 可以进行田间应用。

2.2 Men-myco-93-63 菌株发酵物对番茄生长的影响及对根结线虫的防效

从表 2 可以看出, Men-myco-93-63 菌株发酵物和农药处理的番茄株高和茎粗均显著高于对照,

第 1 节间长显著低于对照; Men-myco-93-63 菌株发酵物处理的番茄产量都较高, 其中以固体发酵物 1 V: 200 V 处理的番茄产量最高, 为 $6\ 151.22\ \text{kg} \cdot (667\ \text{m}^2)^{-1}$, 显著高于对照 [$3\ 705.56\ \text{kg} \cdot (667\ \text{m}^2)^{-1}$], 说明玫瑰黄链霉菌 Men-myco-93-63

表 2 玫瑰黄链霉菌 Men-myco-93-63 菌株发酵物对番茄生长及根结线虫病的防效

处理		株高/m	茎粗/cm	第 1 节间长/cm	产量/ $\text{kg} \cdot (667\ \text{m}^2)^{-1}$	病情指数	相对防效/%
Men-myco-93-63 菌株发酵液	5 倍稀释液	1.254 a	1.220 a	2.907 bc	5\ 336.00 c	10 f	61.54
	10 倍稀释液	1.301 a	1.153 b	2.883 c	4\ 594.89 e	12 d	53.85
	20 倍稀释液	1.297 a	1.229 a	2.625 c	4\ 002.00 f	21 b	19.23
Men-myco-93-63 菌株固体发酵物	1 V: 200 V	1.298 a	1.141 b	3.309 d	6\ 151.22 a	11 e	57.69
	1 V: 400 V	1.251 a	1.252 a	3.264 b	5\ 499.04 b	13 c	50.00
10% 噻唑膦		1.259 a	1.153 b	2.947 c	4\ 920.98 d	4 g	84.62
清水 (CK)		1.158 b	1.060 c	3.850 a	3\ 705.56 g	26 a	—

菌株发酵物对番茄具有明显的促生增产效果。

番茄生长中后期,可以观察到对照地块出现明显的衰老死亡,而 Men-myco-93-63 菌株发酵物处理的各地块番茄生长仍较好,如图 2 固体发酵物 1 V:200 V 处理。番茄生长季末,对照许多植株都有根结,发病程度 0~4 级不等,以 1、2 级居多,病情指数为 26;施用 10% 噻唑膦具有明显的防治效果,根结很少,病情指数为 4,防效达 84.62%;玫瑰黄链霉菌 Men-myco-93-63 发酵物各处理的植株

病情指数均显著低于对照,对根结线虫具有显著的防治作用,以高浓度的防效最好,发酵液 5 倍稀释液处理的防效可达到 61.54%,固体发酵物 1 V:200 V 处理的防效也达到 57.69%,发酵液 10 倍稀释液、固体发酵物 1 V:400 V 的防效都在 50% 以上,而发酵液 20 倍稀释液的相对防效只有 19.23% (表 2);本试验中发酵液施用 3 次,但是固体发酵物只在植株定植时施用 1 次,而固体发酵物 1 V:200 V 的防效与发酵液 5 倍稀释液相近,因此,固体发酵



图 2 玫瑰黄链霉菌 Men-myco-93-63 菌株发酵物 1 V:200 V 对番茄根结线虫病的防效
a, 清水 (CK); b, 玫瑰黄链霉菌 Men-myco-93-63 菌株固体发酵物 1 V:200 V; c, 10% 噻唑膦。

物更具有推广应用潜力。

2.3 Men-myco-93-63 菌株发酵物对根际土壤微生物区系和根结线虫密度的影响

2.3.1 对根际土壤中细菌数量的影响 第 1 茬黄瓜定植前取土样进行微生物含量检测,根际土壤中的细菌数量为 $2.30 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ 左右。在黄瓜生长季,施用 Men-myco-93-63 菌株固体发酵物 1 V:200 V 处理的细菌数量变化趋势与 10% 噻唑膦处理和清水对照相似,细菌数量均维持在较高水平;但是在番茄生长季,10% 噻唑膦处理和对照中的细菌数量均明显下降,而施用固体发酵物 1 V:200 V 处理的细菌数量仍维持在相对较高的水平,且

在黄瓜和番茄定植后 15 d 左右细菌数量都有较大程度的提高。7 个月后, Men-myco-93-63 菌株固体发酵物 1 V:200 V 处理的根际土壤中细菌数量最高,达 $2.75 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$,比黄瓜定植前增加了 19.57%,而 10% 噻唑膦处理中细菌数量为 $1.00 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$,清水对照则为 $0.75 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ (图 3)。

2.3.2 对根际土壤中真菌数量的影响 第 1 茬黄瓜定植前检测土壤中真菌数量为 $2.10 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ 左右。在黄瓜生长季,根际土壤中真菌数量呈先降低再升高的趋势,7 月 6 日黄瓜清棚时, Men-myco-93-63 菌株固体发酵物 1 V:200 V 处理的真

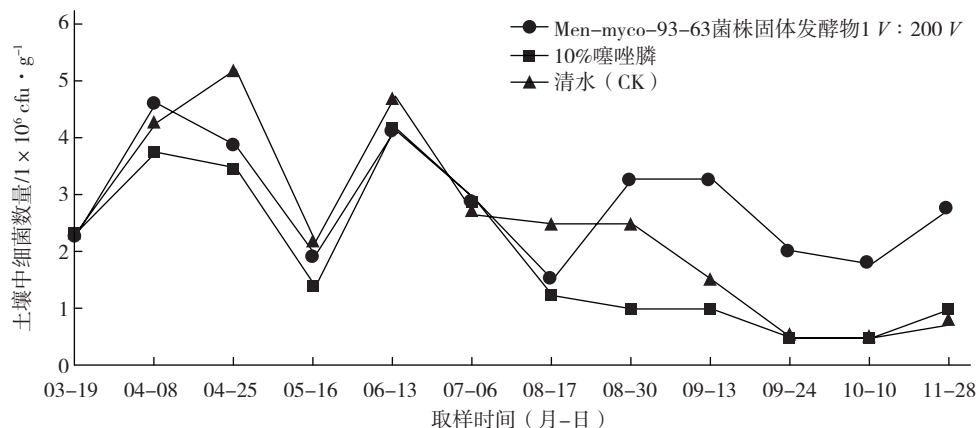


图 3 玫瑰黄链霉菌 Men-myco-93-63 菌株固体发酵物 1 V:200 V 处理后土壤中细菌数量的动态变化

菌数量为 $1.00 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ ，比定植前略有下降，而10%噻唑膦处理和对照处理的真菌数量都较高，分别达到 $3.60 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $3.20 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ ；在番茄生长季，Men-myc-93-63 菌株固体发酵物

1 V : 200 V 处理的真菌数量呈先升高后下降的趋势，11月末其数量为 $1.50 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ ，比黄瓜定植前下降了 28.57% (图4)。

2.3.3 对根际土壤中放线菌数量的影响 第1茬黄

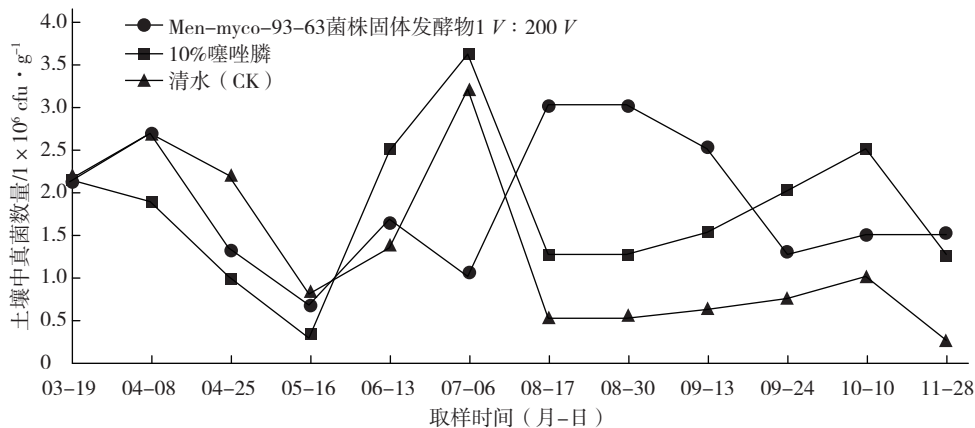


图4 玫瑰黄链霉菌 Men-myc-93-63 菌株固体发酵物 1 V : 200 V 处理后土壤中真菌数量的动态变化

瓜定植前检测根际土壤中放线菌数量约为 $0.30 \times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ ，Men-myc-93-63 菌株发酵物和农药处理的放线菌数量均呈先下降后上升的趋势，7月6日黄瓜清棚时均比定植前土壤中放线菌数量低，但在整个黄瓜生长季，Men-myc-93-63 菌株固体发酵物 1 V : 200 V 处理的放线菌数量除 4月25日

比清水对照略低外，其他均比农药处理和对照的高。在番茄生长季，放线菌数量主要呈上升趋势，Men-myc-93-63 菌株固体发酵物 1 V : 200 V 处理的放线菌数量仍较农药和对照的高，到11月末，放线菌数量由 $0.30 \times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ 增加到 $1.25 \times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ ，增加 316.67% (图5)。

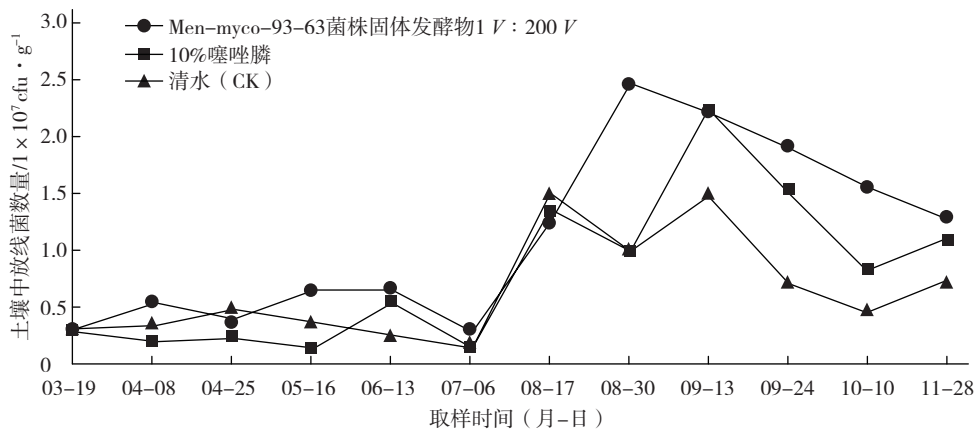


图5 玫瑰黄链霉菌 Men-myc-93-63 菌株固体发酵物 1 V : 200 V 处理后土壤中放线菌数量的动态变化

2.3.4 对根际土壤中根结线虫密度的影响 第1茬黄瓜定植前，检测根际土壤中根结线虫的密度为 $64 \text{ 条} \cdot \text{g}^{-1}$ 。10%噻唑膦和 Men-myc-93-63 菌株固体发酵物 1 V : 200 V 处理的土壤根结线虫数量整体呈下降的趋势。观察期间，对照根结线虫数量呈先增加后下降再增加的趋势，且在各时期根结线虫数量都高于生防菌和 10% 噻唑膦农药处理，其中 4月25日，根结线虫数量达到最高，为 85.50

$\text{条} \cdot \text{g}^{-1}$ ，分析此时为侵染高峰期；各处理中，10%噻唑膦农药的防治效果最好，在各时期线虫的数量都最少，最后根结线虫数量下降为 $17.25 \text{ 条} \cdot \text{g}^{-1}$ ，其次为 Men-myc-93-63 菌株固体发酵物 1 V : 200 V 处理，8月17日番茄定植前根结线虫密度下降到 $10.75 \text{ 条} \cdot \text{g}^{-1}$ ，之后番茄生长季虽有增加，但不明显，11月末根结线虫密度为 $26.25 \text{ 条} \cdot \text{g}^{-1}$ ，而对照的根结线虫的密度为 $49.50 \text{ 条} \cdot \text{g}^{-1}$ (图6)。

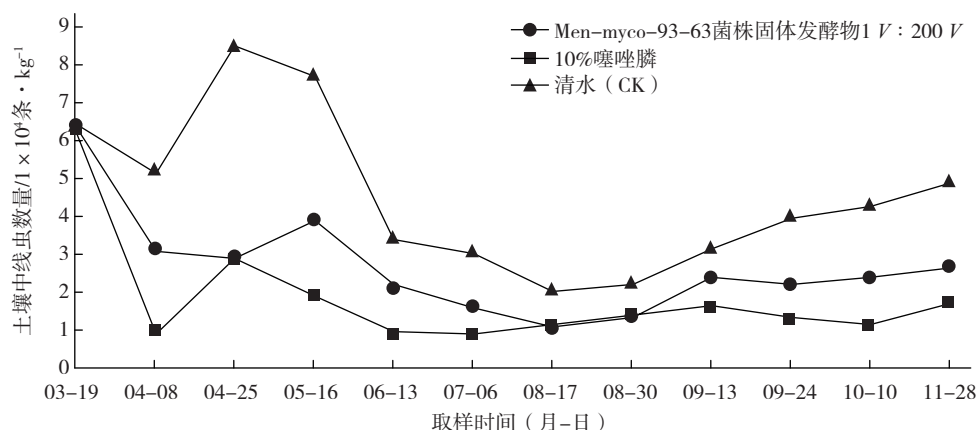


图6 玫瑰黄链霉菌 Men-myc-93-63 菌株固体发酵物 1 V: 200 V 处理后土壤中线虫密度的动态变化

3 结论与讨论

利用生物防治的方法控制根结线虫, 目前虽仍面临防效不稳定、不便贮运和持效期短等问题, 但仍然是设施生产实现可持续发展的必然之路。本试验结果表明, 玫瑰黄链霉菌 Men-myc-93-63 菌株发酵物对设施蔬菜根结线虫病具有较好的防治效果, 其固体发酵物 1 V: 200 V 对黄瓜和番茄根结线虫的防效分别为 65.62% 和 57.69%, 且只需要在定植时施用 1 次, 高浓度菌株发酵液虽然也具有较高的防效, 但是与固体发酵物的防效差异不明显, 且需要多次施用, 因此固体发酵物更适合在生产上推广和应用。

土壤微生物区系是引起生防菌室内防效与田间防效显著差异的重要因素之一, 土壤微生物种类繁多, 主要是细菌、真菌、放线菌, 其中尤以细菌的种类和数量最多 (Kennedy, 1999), 病原物的入侵会破坏原土壤的微生物结构, 生防微生物的施用则可以改善土壤微生物结构 (Paulitz & Lindeman, 1989; Marshner & Crowley, 1996; Marschner, et al., 2001), 使其有利于植物生长, 但不同生防菌对土壤微生物区系的影响不同。张婷等 (2013) 将枯草芽孢杆菌 (*B. subtilis*) B006 与淡紫拟青霉 (*P. lilacinus*) Str.NH-PL-03 复合菌剂添加到设施黄瓜连作土壤中, 发现根际土壤中真菌群体总量显著减少, 细菌总量显著增加, 并能促进 TRF139 等有益菌群增殖, 抑制 TRF341 等有害菌群增殖。尹淑丽等 (2012) 通过施用生防菌细菌 D、放线菌 317 和木霉菌, 研究黄瓜不同生育时期根际土壤中微生物

数量动态变化, 发现接种细菌 D 和放线菌 317 后细菌数量上升, 真菌数量下降, 放线菌数量的变化不明显; 接种木霉菌则明显提高了根际土壤中放线菌和真菌的数量, 对细菌的数量影响不明显。本试验中, 采用平板稀释法对根际土壤中的可培养微生物在全年中的数量变化进行全面检测, 发现施用玫瑰黄链霉菌 Men-myc-93-63 菌株发酵物 1 V: 200 V 后, 根际土壤中细菌数量增加了 19.75%; 真菌数量降低了 29.25%; 放线菌数量增加了 316.67%, 以上 3 种可培养微生物总量由 7.40×10^6 cfu · g⁻¹ 增加到 16.75×10^6 cfu · g⁻¹, 增加了 126.35%。由此看出, 生防菌 Men-myc-93-63 的施用可以改善根际土壤中的微生物结构。由于利用筛选培养基检测分离到的微生物只有 0.1% ~ 10% (张黎和周青, 2008), 因此 Men-myc-93-63 菌株对根结线虫病土中不可培养微生物的影响如何, 还需要利用 PCR-DGGE (胡元森等, 2004) 等其他分子生物学技术手段作进一步研究。

参考文献:

- 成飞雪, 王忠勇, 刘勇. 2012. 光合细菌与芽孢杆菌生防菌剂防治黄瓜根结线虫病研究. 长江蔬菜, (20): 80-83.
- 郭敬华. 2007. 玫瑰黄链霉菌 Men-myc-93-63 发酵液防治黄瓜白粉病的效果及作用机理初探 [硕士学位论文]. 保定: 河北农业大学.
- 胡元森, 吴坤, 刘娜, 陈红歌, 贾新成. 2004. 黄瓜不同生育期根际微生物区系变化研究. 中国农业科学, 37 (10): 1521-1526.
- 李洪涛, 张翠绵, 沈江卫, 王占武. 2006. 黄瓜根结线虫拮抗菌筛选及作用机理初探. 河北大学学报: 自然科学版, 26 (1): 91-96.

- 刘大群, 杨文香, 祁碧菽, 王朝花. 1999. 拮抗链霉菌 Men-myco-93-63 及其发酵液对棉花黄萎病菌生长的影响. 河北农业大学学报, 22 (4): 79-82.
- 刘维志. 2004. 植物病原线虫学. 北京: 中国农业出版社.
- 魏学军. 2004. 蔬菜根结线虫生防菌的筛选与鉴定 [硕士论文]. 保定: 河北农业大学.
- 魏艳敏, 刘大群, 田世民, 张汀. 2000. 链霉菌 (*Streptomyces* spp.) 对几种蔬菜病原菌的拮抗作用. 河北农业大学学报, 23 (3): 65-68.
- 温丹, 巩彪, 郭纹秀, 王玉飞, 余文娟, 史庆华, 王秀峰. 2011. 松杉树皮和玉米秸秆堆肥对番茄根结线虫病的防治及土壤微生物的影响. 中国蔬菜, (20): 39-44.
- 武志朴. 2005. 霉菌 Men-myco-93-63 防治甘薯茎线虫病初步研究 [硕士论文]. 保定: 河北农业大学.
- 许华, 阮维斌, 高玉葆, 宋晓艳, 魏宇昆. 2010. 根结线虫接种对黄瓜植株根际土壤 pH 和微生物的影响. 中国生态农业学报, 18 (5): 1041-1045.
- 尹淑丽, 麻耀华, 张丽萍, 张根伟, 黄亚丽, 梁然. 2012. 不同生防菌对黄瓜根际土壤微生物数量及土壤酶活性的影响. 北方园艺, (1): 10-14.
- 张黎, 周青. 2008. 环境微生物基因组学的生态学管窥. 中国生态农业学报, 16 (5): 1322-1325.
- 张婷, 李世东, 廖作清. 2013. 秸秆降解生防菌强化技术对黄瓜连作土壤微生物区系的影响. 中国生态农业学报, 21 (11): 1416-1425.
- 张艳杰, 魏学军, 寇宏达, 乔丹娜, 冀红柳, 李爱霞. 2013. 玫瑰黄链霉菌 Men-myco-93-63 抗南方根结线虫相关酶活性及其防效. 西北农业学报, 22 (4): 184-190.
- 赵斌, 何绍江. 2002. 微生物学实验. 北京: 科学出版社.
- Kennedy A C. 1999. Bacterial diversity in agroecosystems. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 74: 65-76.
- Liu D Q, Anderson N A, Kinkel L L. 2000. Field evaluation of antagonistic *Streptomyces* strains on biocontrol of potato scab. *Acta Phytopathologica Sinica*, 30 (3): 237-244.
- Marshner P, Crowley D E. 1996. Physiological activity of a bioluminescent *Pseudomonas fluorescens* (Strain 2-79) in the rhizosphere of mycorrhizal and non-mycorrhizal pepper (*Capsicum annuum* L.). *Soil Biology and Biochemistry*, 28: 869-876.
- Marschner P, Crowley D E, Lieberei R. 2001. Arbuscular mycorrhizal infection changes the bacterial 16s rDNA community composition in the rhizosphere of maize. *Mycorrhiza*, 11: 297-302.
- Paulitz T C, Linderman R G. 1989. Interaction between fluorescent pseudomonads and VA-mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 113: 37-45.

Control Efficacy of *Streptomyces roseoflavus* on Root-knot Nematode and Its Influence on Soil Microbiota

QIAO Dan-na¹, ZHANG Yan-jie¹, LI Hua-yi¹, SHEN Feng-ying^{1, 2}, LI Zhen-zhen^{1, 3}, LIU Da-qun^{1*}, LI Ya-ning^{1*}

(¹College of Plant Protection, Agricultural University of Hebei; Biological Control Center of Plant Diseases and Plant Pests of Hebei Province; National Engineering Research Center for Agriculture in Northern Mountainous Areas, Baoding 071001, Hebei, China; ²Hebei North College, Zhangjiakou 075000, Hebei, China; ³Agricultural Bureau of Xingtai City, Xingtai 054001, Hebei, China)

Abstract: Both fermentation broth and solid state fermentation of *Streptomyces roseoflavus* Men-myco-93-63 isolate were used for controlling tomato and cucumber root-knot nematode. The control efficacy and its effect on soil microbiota were studied. The results showed that the control efficacy of the treatment on cucumber and tomato by 1 V : 200 V solid state fermentation of Men-myco-93-63 were 65.62% and 57.69%, respectively. The application of bio-agents has increased the number of bacteria and actinomyces in soil by 19.57% and 316.67%, respectively, while the number of fungi reduced by 28.57%. The three kinds of the cultivable soil microorganism raised from 7.40×10^6 cfu · g⁻¹ to 16.75×10^6 cfu · g⁻¹, amount to 126.35%.

Key words: *Streptomyces roseoflavus*; Isolate Men-myco-93-63; Root-knot nematode; Control effect; Soil microorganism