



不同生物制剂对南方根结线虫杀虫活性与防治效果

李运朝, 李洪涛, 及华, 李俊花, 李超楠, 章丽, 金小艳

引用本文:

李运朝, 李洪涛, 及华, 李俊花, 李超楠, 章丽, 金小艳. 不同生物制剂对南方根结线虫杀虫活性与防治效果[J]. *农业环境科学学报*, 2022, 41(12): 2810–2816.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2022-1146>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[餐厨垃圾制菌肥对番茄根结线虫病的防效以及对土壤生物活性的影响](#)

余真, 张又驰, 罗文邃

农业环境科学学报. 2015(6): 1217–1224 <https://doi.org/10.11654/jaes.2015.06.028>

[哈茨木霉菌HNA12在防控玉米黄曲霉毒素污染中的应用](#)

张丽芳, 许旖旎, 曹阳, 刘力强

农业环境科学学报. 2022, 41(12): 2688–2693 <https://doi.org/10.11654/jaes.2022-1056>

[施用方式和土壤深度对昆虫病原线虫越冬的影响](#)

白光瑛, 沈广爽, 马海鲲, 王孝莹, 刘耀华, 谷希树, 阮维斌, MartijnBezemer

农业环境科学学报. 2015, 34(11): 2162–2168 <https://doi.org/10.11654/jaes.2015.11.018>

[淡紫拟青霉A10的促生特性及其发酵液对印度芥菜幼苗蓄积Cs+的影响](#)

韩娜, 陶宗娅, 代文秀, 黄攀, 刘巧, 赖金龙, 吴国, 卢红

农业环境科学学报. 2019, 38(3): 485–493 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-0450>

[北苍术根腐病病原菌分离鉴定及其生防菌筛选](#)

李超楠, 李洪涛, 李运朝, 李俊花, 及华, 章丽, 王琳

农业环境科学学报. 2022, 41(12): 2824–2830 <https://doi.org/10.11654/jaes.2022-1131>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

李运朝, 李洪涛, 及华, 等. 不同生物制剂对南方根结线虫杀虫活性与防治效果[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(12): 2810–2816.

LI Y C, LI H T, JI H, et al. Insecticidal activity and control effect of different biological preparations against *Meloidogyne incognita*[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2022, 41(12): 2810–2816.



开放科学 OSID

不同生物制剂对南方根结线虫杀虫活性与防治效果

李运朝¹, 李洪涛^{1*}, 及华¹, 李俊花¹, 李超楠^{1,2}, 章丽¹, 金小艳³

(1. 河北省农林科学院生物技术与食品科学研究所, 石家庄 050051; 2. 河北农业大学植物保护学院, 河北 保定 071000; 3. 中农绿康生物技术有限公司, 北京 102101)

摘要:为探讨不同生物制剂对南方根结线虫杀虫活性及其防治效果,采用实验室分离培养的10株芽孢杆菌和2种山杏壳木醋液对南方根结线虫进行杀虫活性筛选,并利用温室盆栽番茄实验和番茄田间试验对筛选出的制剂进行防治效果验证。室内生测验证实验表明,有4株芽孢杆菌发酵液和山杏壳木醋液对南方根结线虫有较好的毒杀作用。菌株XYG169发酵液对线虫校正死亡率为84.9%;菌株BMT295发酵液对线虫校正死亡率为100%;菌株BMT256发酵液对线虫校正死亡率为97.9%;菌株YLT74发酵液对线虫校正死亡率为80.7%。山杏壳木醋液稀释100、200、400、600倍和800倍溶液的线虫校正死亡率分别为100%、100%、92.8%、65.4%和42.5%。盆栽实验表明BMT295粉剂4 g+山杏壳木醋液300倍液处理防效最好,相对防效为74.00%。田间试验表明BMT295粉剂+山杏壳木醋液300倍液处理对南方根结线虫防治效果最好,其相对防效为64.54%,该结论与盆栽实验结论一致。综合室内生测实验、盆栽实验和田间试验结果,BMT295粉剂和山杏壳木醋液联合使用防治效果显著,可以作为生物杀线虫剂进一步在田间试验推广。

关键词:番茄根结线虫病; 南方根结线虫; 生物防治; 芽孢杆菌; 木醋液

中图分类号:S432.4 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2022)12-2810-07 doi:10.11654/jaes.2022-1146

Insecticidal activity and control effect of different biological preparations against *Meloidogyne incognita*

LI Yunchao¹, LI Hongtao^{1*}, JI Hua¹, LI Junhua¹, LI Chaonan^{1,2}, ZHANG Li¹, JIN Xiaoyan³

(1. Institute of Biotechnology and Food Science, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China;
2. College of Plant Protection, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China; 3. Sino Green Agri-BioTech Co. Ltd., Beijing 102101, China)

Abstract: This study explores the insecticidal activity and control effect of different biological agents on *Meloidogyne incognita*. Ten *Bacillus* species and two kinds of *Prunus armeniaca* (apricot) shell wood vinegar were isolated and cultured in our laboratory and were tested for their insecticidal activity screening against *Meloidogyne incognita*. The control efficacy of the selected agents was verified using greenhouse pot-grown and field-grown tomatoes as testing plants. The indoor bioassay verification test showed that the fermentation broths of four *Bacillus* strains and the wild *P. armeniaca* shell wood vinegar had good poisoning effect on *Meloidogyne incognita*. The corrected mortalities for the *Bacillus* fermentation broths were 84.9% for strain XYG169, 100% for BMT295, 97.9% for strain BMT256, and 80.7% for the YLT74. The corrected mortality rates of nematodes with 100-fold, 200-fold, 400-fold, 600-fold and 800-fold diluted solutions of *P. armeniaca* shell wood vinegar were 100%, 100%, 92.8%, 65.4%, and 42.5%, respectively. The pot experiment in the greenhouse showed that the control effect of the 300-fold solution of *P. armeniaca* wood vinegar added with 4 g of BMT295 powder was the most effective, with

收稿日期:2022-11-10 录用日期:2022-12-13

作者简介:李运朝(1976—),男,河北唐县人,副研究员,从事植物病害生物防治研究。E-mail:Liyunchao1976@qq.com

*通信作者:李洪涛 E-mail:lihongtao1314@yeah.net

基金项目:河北省重点研发计划项目(20326505D, 20326421D)

Project supported: The Key Research and Development Program of Hebei Province(20326505D, 20326421D)

a relative control effect of 74.00%. The field experiment showed that the same treatment of 300-fold solution had the best control effect on *Meloidogyne incognita*, with a relative control effect of 64.54%. The results of indoor bioassay and pot and field experiment revealed that the BMT295 powder mixed with *P. armeniaca* wood vinegar had a noticeable control effect, which could be used as a biological nematicide for further field experiment and popularization.

Keywords: tomato root-knot nematode disease; *Meloidogyne incognita*; biological control; *Bacillus*; wood vinegar

根结线虫(*Meloidogyne* spp.)被列为全球十大植物寄生线虫之首,属于专性寄生病原物,其种间和种内群体间遗传变异大、地理分布广、寄主范围宽、对作物危害严重,且极难防治^[1]。90%以上的植物根结线虫病是由南方根结线虫(*M. incognita*)、北方根结线虫(*M. hapila*)、爪哇根结线虫(*M. javanica*)和花生根结线虫(*M. arenaria*)引起^[2],其中,以南方根结线虫的危害最为普遍^[3]。近年来,我国保护地蔬菜种植业发展迅速,温室连年种植同种蔬菜作物,致使许多老龄温室根结线虫病害日趋严重,已造成了蔬菜的大幅度减产,给菜农们带来了巨大的经济损失^[4]。目前,国内外防治根结线虫病的主要方法有农业防治、物理防治、化学防治、微生物农药防治及植物源农药防治^[5]。其中,化学防治方法因见效快、操作简单而广受菜农欢迎,但化学药剂易使病原菌产生抗药性,易造成环境污染,不利于现代绿色农业的发展^[6]。微生物农药是指由微生物及其代谢产物加工而成的有杀虫、杀菌、除草、杀鼠或调节植物生长作用的具有农药活性的物质,包括农用抗生素和活体微生物农药,是生物防治的物质基础和重要手段^[7]。对根结线虫有毒效作用的微生物很多,目前研究较多的有巴氏杆菌(*Pasteruria* spp.)、假单胞杆菌(*Pseudomonas* spp.)、链霉菌(*Streptomyces* spp.)、类立克次体(*Rickettsia* spp.)和芽孢杆菌(*Bacillus* spp.)及其他土壤细菌^[8-10]。植物源农药如苦参碱、印楝素、藜芦碱和马兜铃内酰胺等也对根结线虫具有较高的防治效果^[11-13]。植物源农药具有分解快、残留低、污染少、毒性小等特点^[14],因此,提取植物杀线虫活性物质研制植物源农药成为研究的热点之一。阿维菌素与植物源农药复配表现出对根结线虫良好的拮抗效果^[15-16]。生防菌与阿维菌素、苦参碱、印楝素、藜芦碱混用可对黄瓜根结线虫的防治起到增效作用^[17]。

山杏主要分布于我国三北地区,山杏壳木醋液是山杏壳烧制活性炭过程中的副产物,是含有多种有机物的混合物,具有促进植物生长、消毒土壤、杀菌、防虫防腐、除草和除臭等多种作用^[18-19]。李维蛟等^[20]对根结线虫的防治研究表明,木醋液对根结线虫具有较

强的抑制作用且在一定时间内具有特效性。本研究采用本实验室分离培养的10株芽孢杆菌和2种山杏壳木醋液对南方根结线虫进行杀虫活性筛选,并利用温室盆栽番茄实验和设施番茄田间试验对筛选出的生物制剂进行防治效果验证,以期为大面积推广应用奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试线虫

南方根结线虫由中国农业大学线虫实验室提供。挑取人工接种南方根结线虫的空心菜根结虫卵,将卵置于无菌水中孵化,收取2~7 d孵化出的活幼虫(J2)供测试。

1.1.2 供试药剂

供试生防菌剂为本实验室分离培养的10株芽孢杆菌,菌株编号分别是XYG169、BMT112、YCG39、YCG47、BMT295、BMT238、BMT256、BMT193、YLT74、BMT204;对照药剂为北京农科院植环所提供的“微生物主益”抗根结线虫菌剂(木霉厚垣孢子含量 2×10^8 CFU·g⁻¹);由菌株BMT295经中试发酵制成的芽孢杆菌可湿性粉剂BMT295(2×10^9 CFU·g⁻¹);2种植物提取物分别是山杏壳木醋液(pH 2.7,有机酸总含量为12.96%)和精制山杏壳木醋液(pH 5.6,有机酸总含量为7.36%),由石家庄升隆炭业科技有限公司提供。

1.1.3 供试作物

供试作物为番茄,品种为“粉佳”,由河北饶阳大尹村镇番茄育苗基地提供。

1.2 方法

1.2.1 室内生测实验

10株芽孢杆菌菌液经摇床发酵培养48 h,用无菌水分别配制浓度为 4×10^8 CFU·mL⁻¹和 2×10^8 CFU·mL⁻¹的菌液,山杏壳木醋液稀释成100、200、400、600倍和800倍,精制山杏壳木醋液分别稀释成100、200、300倍和400倍。在24孔组织培养板内每孔加入25 μL约含75条根结线虫(J2)的水溶液,再加入稀释成一定倍数的生物制剂溶液300 μL,每个处理3次重

复,实验重复3次,以无菌水为对照。在25℃下保存。48 h后在63倍显微镜下数线虫条数,再加入1~2滴1%的NaOH溶液,如果线虫保持不动,则认为线虫死亡。将筛选出的生物制剂按照上述步骤做室内生测重复验证实验。

1.2.2 盆栽实验

花盆规格320 mm×200 mm,实验共8个处理,每个处理9盆,整个实验3次重复:对照药剂“微物主益”抗根结线虫菌剂2个处理,每盆施药量分别为3 g和6 g;山杏壳木醋液稀释成300倍1个处理,每盆施用100 mL;可湿性粉剂BMT295 2 g和4 g 2个处理;2 g可湿性粉剂BMT295+山杏壳木醋液300倍液1个处理;4 g可湿性粉剂BMT295+山杏壳木醋液300倍液1个处理;对照处理为清水常规管理。“微物主益”抗根结线虫菌剂和BMT295在番茄移栽时均匀掺入盆栽土壤中;山杏壳木醋液在线虫接种后2 d人工浇灌1次。线虫接种方法是在番茄植株周围均匀打9个深约2 cm的孔,用移液器加入含根结线虫的水溶液,每盆番茄的线虫接种量约1 600条。在番茄处理90 d后,将番茄根系挖出,轻轻抖掉根际土壤,根据病情级别标准确定根结线虫发病情况。利用Excel软件分别计算病情指数和防治效果。

病情指数=Σ(各级植株数×级别)/(调查总株数×最高代表级别);

防治效果=(对照病情指数-处理病情指数)/对照病情指数×100%。

1.2.3 田间防效试验

2018年8—11月在河北省饶阳县吾固村(根结线虫发生较为严重的地块)番茄温室进行田间试验,试验采用随机区组设计,每个处理3次重复,小区面积为30 m²(5 m×6 m)。番茄移栽时将“微物主益”抗根结线虫菌剂和可湿性粉剂BMT295沿定植沟均匀撒施,“微物主益”抗根结线虫菌剂每公顷用量150 kg,BMT295粉剂每公顷用量180 kg,盖土后浇灌等量的水。移栽后7 d人工逐株浇灌山杏壳木醋液稀释300倍液,每株用量约400 mL,以不施药为空白对照。移栽后第90天取样,每小区调查20株,将番茄根冲洗干净后,记下每株根结数。分别调查发病植株及根系发病程度,计算病情指数及相对防治效果,进行病情分级。

1.2.4 数据统计分析

采用Excel 2013和SPSS 20.0软件进行统计分析,采用S-N-K法对均值进行显著性比较。

2 结果与分析

2.1 不同生物制剂对南方根结线虫二龄幼虫的致死效果

由表1可以看出,有4株芽孢杆菌发酵液对南方根结线虫具有较好的毒杀作用,其中菌株XYG169浓度为4×10⁸ CFU·mL⁻¹和2×10⁸ CFU·mL⁻¹发酵液对线虫校正死亡率分别为85.6%和42.4%;菌株BMT295浓度为4×10⁸ CFU·mL⁻¹和2×10⁸ CFU·mL⁻¹发酵液对

表1 不同生物制剂处理对南方根结线虫的毒性

Table 1 Toxicity of different medicament treatments against *Meloidogyne incognita*

序号 Serial number	处理 Treatment	浓度 Concentration	线虫校正死亡率 Nematode corrected mortality/%
1	XYG169	4×10 ⁸ CFU·mL ⁻¹	85.6abc
2	XYG169	2×10 ⁸ CFU·mL ⁻¹	42.4ghi
3	BMT112	4×10 ⁸ CFU·mL ⁻¹	49.8efgh
4	BMT112	2×10 ⁸ CFU·mL ⁻¹	30.1ijk
5	YCG39	4×10 ⁸ CFU·mL ⁻¹	64.1de
6	YCG39	2×10 ⁸ CFU·mL ⁻¹	49.4efgh
7	YCG47	4×10 ⁸ CFU·mL ⁻¹	43.1ghi
8	YCG47	2×10 ⁸ CFU·mL ⁻¹	30.1ijk
9	BMT295	4×10 ⁸ CFU·mL ⁻¹	100a
10	BMT295	2×10 ⁸ CFU·mL ⁻¹	47.6fg
11	BMT238	4×10 ⁸ CFU·mL ⁻¹	35.8hij
12	BMT238	2×10 ⁸ CFU·mL ⁻¹	15.8k
13	BMT256	4×10 ⁸ CFU·mL ⁻¹	98.2ab
14	BMT256	2×10 ⁸ CFU·mL ⁻¹	75.4cd
15	BMT193	4×10 ⁸ CFU·mL ⁻¹	65.0de
16	BMT193	2×10 ⁸ CFU·mL ⁻¹	27.0ijk
17	YLT74	4×10 ⁸ CFU·mL ⁻¹	83.8bc
18	YLT74	2×10 ⁸ CFU·mL ⁻¹	51.9efgh
19	BMT204	4×10 ⁸ CFU·mL ⁻¹	55.5efg
20	BMT204	2×10 ⁸ CFU·mL ⁻¹	28.2ijk
21	山杏壳木醋液	稀释100倍	100a
22	山杏壳木醋液	稀释200倍	99.8a
23	山杏壳木醋液	稀释400倍	92.2ab
24	山杏壳木醋液	稀释600倍	61.9def
25	山杏壳木醋液	稀释800倍	41.2ghi
26	精制山杏壳木醋液	稀释100倍	51.9efgh
27	精制山杏壳木醋液	稀释200倍	22.7jk

注:数据采用单因素方差分析,用S-N-K法对均值进行显著性比较。同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: The data were analyzed by one-way ANOVA, and the significant difference was compared between the means using S-N-K method. Different lowercase letters in the same column indicate significant differences among treatments ($P<0.05$). The same below.

线虫校正死亡率分别为100%和47.6%;菌株BMT256浓度为 $4\times10^8\text{ CFU}\cdot\text{mL}^{-1}$ 和 $2\times10^8\text{ CFU}\cdot\text{mL}^{-1}$ 发酵液对线虫校正死亡率分别为98.2%和75.4%;菌株YLT74浓度为 $4\times10^8\text{ CFU}\cdot\text{mL}^{-1}$ 和 $2\times10^8\text{ CFU}\cdot\text{mL}^{-1}$ 发酵液对线虫校正死亡率分别为83.8%和51.9%。山杏壳木醋液对南方根结线虫具有较好的毒杀作用,其稀释溶液100、200、400、600倍和800倍对线虫校正死亡率分别为100%、99.8%、92.2%、61.9%和41.2%。

室内生测验证实验(表2)表明,不同生物制剂处理对南方根结线虫的毒性差异显著。4株发酵菌菌液对南方根结线虫具有较好的毒杀作用,其中XYG169 $4\times10^8\text{ CFU}\cdot\text{mL}^{-1}$ 菌液线虫校正死亡率为84.9%;BMT295 $4\times10^8\text{ CFU}\cdot\text{mL}^{-1}$ 菌液线虫校正死亡率为100%;BMT256 $4\times10^8\text{ CFU}\cdot\text{mL}^{-1}$ 菌液线虫校正死亡率为97.9%;YLT74 $4\times10^8\text{ CFU}\cdot\text{mL}^{-1}$ 菌液线虫校正死亡率为80.7%。山杏壳木醋液对南方根结线虫具有较好的毒杀作用,其中山杏壳木醋液稀释100、

表2 不同生物制剂处理对南方根结线虫的毒性验证

Table 2 Verification of toxicity of different medicament treatments against *Meloidogyne incognita*

序号 Serial number	处理 Treatment	浓度 Concentration	线虫校正死亡率 Nematode corrected mortality/%
1	XYG169	$4\times10^8\text{ CFU}\cdot\text{mL}^{-1}$	84.9c
2	BMT295	$4\times10^8\text{ CFU}\cdot\text{mL}^{-1}$	100a
3	BMT256	$4\times10^8\text{ CFU}\cdot\text{mL}^{-1}$	97.9a
4	YLT74	$4\times10^8\text{ CFU}\cdot\text{mL}^{-1}$	80.7d
5	山杏壳木醋液	稀释100倍	100a
6	山杏壳木醋液	稀释200倍	100a
7	山杏壳木醋液	稀释400倍	92.8b
8	山杏壳木醋液	稀释600倍	65.4e
9	山杏壳木醋液	稀释800倍	42.5f

表3 不同生物制剂处理对南方根结线虫防治效果
Table 3 Control effect of different medicament treatments on *Meloidogyne incognita*

序号 Serial number	处理 Treatment/(g·株 ⁻¹)	发病率 Incidence rate/%	平均病情指数 Mean disease index	相对防治效果 Relative control effect/%
1	“微物主益”3 g	100	31.25	62.50d
2	“微物主益”6 g	100	25.00	70.00b
4	BMT295粉剂2 g	100	33.93	59.29e
3	BMT295粉剂4 g	100	29.79	64.25d
5	山杏壳木醋液300倍液400 mL	100	35.71	57.14f
6	BMT295粉剂2 g+山杏壳木醋液300倍液400 mL	100	27.38	67.14c
7	BMT295粉剂4 g+山杏壳木醋液300倍液400 mL	100	21.67	74.00a
8	清水对照	100	83.33	—

200、400、600倍和800倍液线虫校正死亡率分别为100%、100%、92.8%、65.4%和42.5%。

2.2 不同生物制剂对番茄根结线虫病盆栽实验防治效果

由表3和图1可以看出,对照番茄根结线虫病盆栽实验防治效果明显,平均病情指数达83.33。7种生物制剂处理均对南方根结线虫具有一定的防治效果,其中山杏壳木醋液300倍液+BMT295粉剂4 g处理防效最好,其病情指数为21.67,相对防效为74.00%;“微物主益”抗根结线虫菌剂3 g和6 g处理平均病情指数分别为31.25和25.00,相对防效分别为62.50%和70.00%;BMT295粉剂4 g处理的病情指数为29.79,相对防效为64.25%;山杏壳木醋液300倍液处理的病情指数为35.71,相对防效为57.14%。各处理中BMT295粉剂4 g+山杏壳木醋液300倍液400 mL处理的防效最佳,病情指数为21.67,相对防效达到74.00%。

2.3 田间防效试验

由表4和图2可以看出,与清水对照相比,4种处理均对番茄根结线虫病具有一定的防治效果,其中对照药剂“微物主益”抗根结线虫菌剂相对防效为56.09%;山杏壳木醋液300倍液处理相对防效为50.06%;BMT295粉剂的相对防效为54.70%;BMT295粉剂+山杏壳木醋液300倍液处理效果最好,相对防效为64.54%。

综合室内生测实验、盆栽实验和田间试验结果,BMT295粉剂和山杏壳木醋液联合使用防治效果显著,可以作为生物杀线虫剂进一步在田间试验推广。

3 讨论

生物制剂在控制线虫病害及其使用方法方面的研究已经取得了一定进展,但由于土壤环境十分复

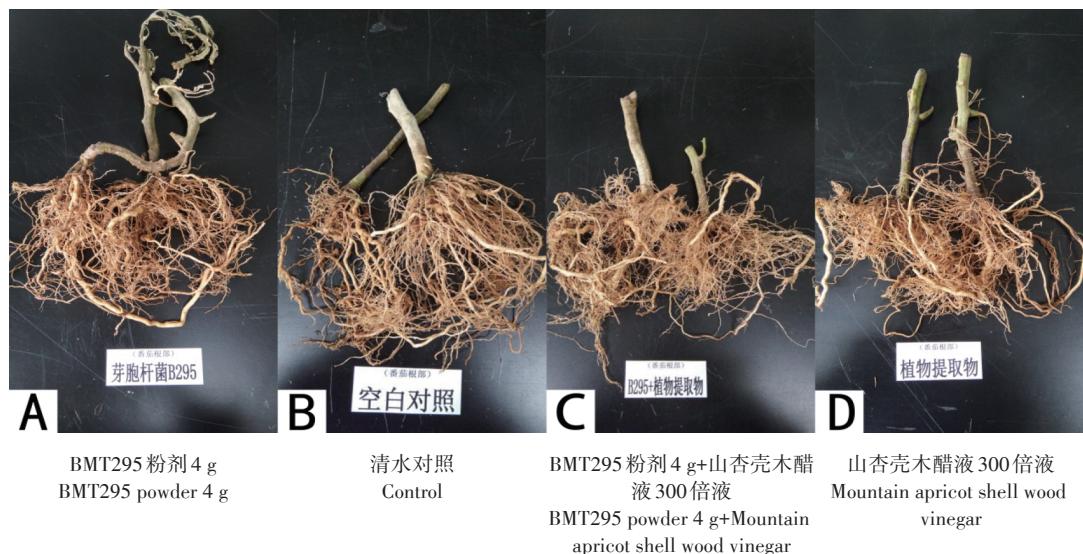


图1 不同生物制剂对根结线虫防治效果

Figure 1 Effect of different biological agents on root knot nematode control

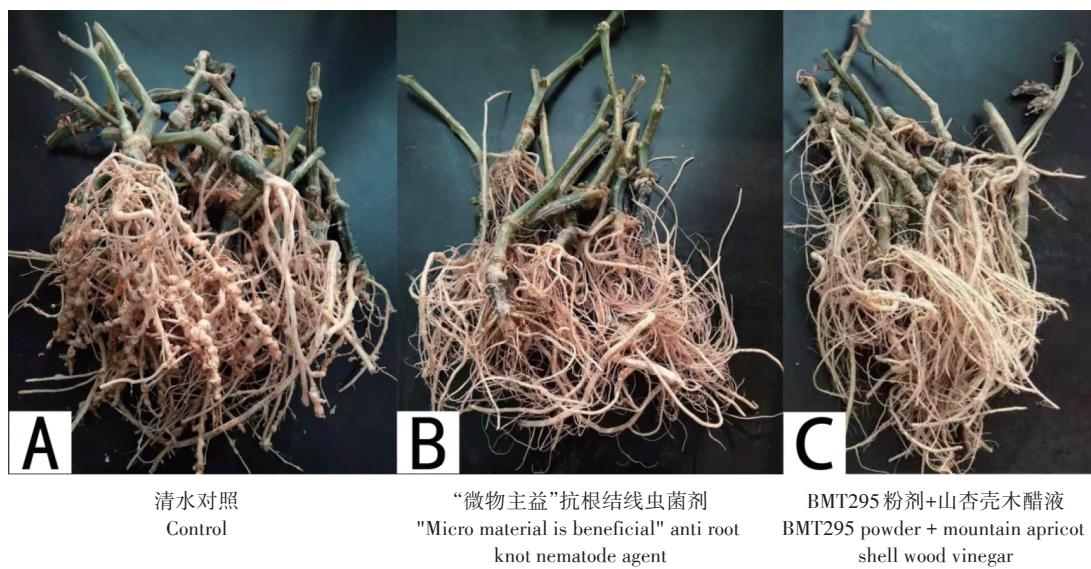


图2 田间不同处理防治效果

Figure 2 Control effect of different treatments in the field

表4 不同生物制剂处理对番茄根结线虫病田间防治效果

Table 4 Field control effect of different medicament treatment on tomato root-knot nematode disease

序号 Serial number	处理 Treatment	发病率 Incidence rate/%	平均病情指数 Mean disease index	相对防治效果 Relative control effect/%
1	微物主益	95	34.45	56.09b
2	BMT295 粉剂	93	35.54	54.70b
3	山杏壳木醋液 300 倍液	98	39.18	50.06c
4	BMT295 粉剂+山杏壳木醋液 300 倍液	94	27.82	64.54a
5	清水对照	96	78.46	—

杂,大部分产品普遍存在防治效果低、稳定性差的问题。微生物杀线虫剂防治根结线虫近年来报道较多,翟明娟等^[1]通过发酵液实验、盆栽实验和田间试验分析了绿色木霉菌株对根结线虫的防治效果,孙燕芳等^[2]研究了室内条件下苏云金杆菌对南方根结线虫的毒力效果,DING等^[22]发现生防细菌PFMP-5对根结线虫有明显的抑制作用,ZHAO等^[23]研究了芽孢杆菌发酵液对番茄根结线虫病的生物活性,YAO等^[24]评价了产黄青霉菌株代谢产物对南方根结线虫的防效,ZHU等^[25]研究了芽孢杆菌对番茄根结线虫病防治效果和番茄生长的影响。粗木醋液作为木材炭化的副

产物,在废弃物的综合利用以及环境保护和可持续发展农业中的应用前景吸引了研究者的关注。木醋液是由木材干馏得到的含有多种有机化合物的酸性淡褐色透明液,木醋液中除了主要成分乙酸外,还含有含量较少、种类繁多的酮类、酚类、醛类和醇类等化合物。木醋液可以抑制根结线虫二龄幼虫,在田间施用可以有效控制根结线虫病的发生。XU等^[26]发现竹醋液和植物浸提液对南方根结线虫有一定的抑杀作用,相较于植物浸提液,竹醋液对南方根结线虫的防治效果更显著;LIANG等^[27]发现不同稀释浓度竹醋液灌根均对番茄根结线虫病有一定的防治效果;李维蛟等^[20]发现木醋液对4种根结线虫具有较强的抑制作用,且随着稀释倍数的增加,抑制效果降低。

本研究筛选获得的4株芽孢杆菌和山杏壳木醋液均能高效毒杀南方根结线虫二龄幼虫。通过室内平板、温室盆栽和田间防效验证,表明芽孢杆菌和木醋液联合施用可以有效防治根结线虫的发生。芽孢杆菌具有防病促生作用,其产生的休眠孢子具有耐低温、耐酸碱的特性,而且芽孢杆菌类微生物制剂发酵成本低、稳定性好、抗逆性强、储存和运输方便。本研究筛选的芽孢杆菌BMT295就是通过中试发酵制成的含有20亿·g⁻¹芽孢的可湿性粉剂,其在番茄移栽时施入植株根部可发挥促生防病的作用。本研究田间试验数据仅为一年获得,在菌剂用量上只是参考盆栽实验结果,以后应通过多年田间试验进一步规范施用量和施用次数。有机酸类物质对根结线虫具有一定的防治效果^[28],研究表明木醋液中含有大量的有机酸类物质可以降低线虫病的危害。精制山杏壳木醋液是山杏壳木醋液经过进一步减压蒸馏获得,其有机酸含量较山杏壳木醋液粗液低,因此田间防治效果也低于山杏壳木醋液处理。在木醋液的精致方法上应进一步探索,以提高组分中杀线虫活性物质含量,从而提高防治效果。

生物制剂在防治根结线虫病上越来越受到重视,这也符合现代绿色农业发展要求。本研究证实芽孢杆菌和木醋液联合使用能够有效防治番茄根结线虫病,其可作为蔬菜根结线虫病绿色防控的手段。随着研究内容不断深入和技术不断改进,生物杀线虫剂会得到进一步发展,其将在防治根结线虫中占据重要地位,为农业生产做出巨大贡献。

4 结论

(1)通过室内生测实验确定出4种芽孢杆菌发酵

菌液和山杏壳木醋液对南方根结线虫具有较好的毒杀作用,其中4种芽孢杆菌分别为XYG169、BMT295、BMT256、YLT74。

(2)综合盆栽实验和田间试验结果,由菌株BMT295经中试发酵制成的芽孢杆菌可湿性粉剂BMT295和山杏壳木醋液联合使用防治效果显著,可以进一步作为生物杀线虫剂进行产业化推广。

参考文献:

- [1] 翟明媚,李登辉,马玉琴,等.绿色木霉菌株Tvir-6对黄瓜根结线虫的防治效果研究[J].中国蔬菜,2017(10):67-72. ZHAI M J, LI D H, MA Y Q, et al. Studies on biocontrol effect of *Trichoderma viride* Tvir-6 against root knot nematode on cucumber[J]. *China Vegetables*, 2017(10):67-72.
- [2] EISENBACK J D, HIRSCHMANN H, SASSER J N, et al. A guide to the four most common species of root-knot nematode (*Meloidogyne* spp.) with a pictorial key[M]. Raleigh, North Carolina: US Agency for International Development, 1981.
- [3] XU J H, LIU P L, MENG Q P, et al. Characterisation of *Meloidogyne* species from China using isozyme phenotypes and amplified mitochondrial DNA restriction fragment length polymorphism[J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2004, 110(3):309-315.
- [4] 路雪君,廖晓兰,成飞雪,等.根结线虫的生物防治研究进展[J].中国农业科技导报,2010,12(4):44-48. LU X J, LIAO X L, CHENG F X, et al. Research progress in bio-control of meloidogyne[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2010, 12(4):44-48.
- [5] 孙世伟,桑利伟.根结线虫防治研究进展[J].现代农业科技,2008, 11:181-182. SUN S W, SANG L W. Research progress in meloidogyne[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2008, 11: 181-182.
- [6] 田文铎,徐光东,朱金英.芽孢杆菌AMCC100153防治番茄根结线虫病效果试验及其对番茄生长的影响[J].上海蔬菜,2018(5):39-40, 56. TIAN W D, XU G D, ZHU J Y. Effect of *Bacillus* AMCC100153 on tomato root-knot nematode disease and its effect on tomato growth[J]. *Shanghai Vegetables*, 2018(5):39-40, 56.
- [7] 朱玉坤,尹衍才.微生物农药研究进展[J].生物灾害科学,2012, 35(4):431-434. ZHU Y K, YIN Y C. Research advances on microbial pesticides[J]. *Biological Disaster Science*, 2012, 35(4):431-434.
- [8] CHEN Z X, DICKSON D W. Review of *Pasteuria penetrans*: Biology ecology and potential[J]. *Journal of Nematology*, 1998(30):313-340.
- [9] HASEEB A, SHARMA A, SHUKLA P K. Studies on the management of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*-wilt fungus, *Fusarium oxysporum* disease complex of green gram, *Vigna adiata* cv ML-1108 [J]. *Journal of Zhejiang University. B. Science*, 2005, 6(8):736-742.
- [10] SIDDIQUI I A, HAAS D, HEEB S. Extracellular protease of *Pseudomonas fluorescens* CHAO, a biocontrol factor with activity against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*[J]. *Applied Environmental Microbiology*, 2005, 71(9):5646-5649.
- [11] 刘霆,刘伟成,卢彩鸽,等.康绿功臣可湿性粉剂防治番茄根结线

- 虫的效果[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(3): 504–505. LIU T, LIU W C, LU C G, et al. Effect of Kanglvongchen WP on tomato root knot nematode[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2012, 51(3): 504–505.
- [12] 王宏宝, 赵桂东, 刘伟中, 等. 不同药剂对黄瓜根结线虫病防治效果研究[J]. 福建农业学报, 2012, 27(11): 1242–1245. WANG H B, ZHAO G D, LIU W Z, et al. Pesticide applications for controlling cucumber root-knot nematode[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 27(11): 1242–1245.
- [13] 卜森森, 韩德建, 董存柱. 朱砂莲果实化学成分杀南方根结线虫活性研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2018, 26(2): 197–201. BU M M, HAN D J, DONG C Z. Nematicidal activity of chemical compositions from aristolochia tuberosa fruits against root-knot nematode[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2018, 26(2): 197–201.
- [14] 雷敬超, 黄惠琴. 南方根结线虫生物防治研究进展[J]. 中国生物防治, 2007, 23(增刊): 76–81. LEI J C, HUANG H Q. Research advance on biological control of the *Meloidogyne incognita*[J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2007, 23(Suppl): 76–81.
- [15] 窦瑞木, 杨红丽, 张慎璞, 等. 2.4% 蘆薈·阿維AS防治番茄根结线虫药效试验[J]. 农药, 2010, 9(8): 602–603. DOU R M, YANG H L, ZHANG S P, et al. Efficacy of cevadine·avermectin 2.4% AS on tomato root-knot nematode[J]. *Agrochemicals*, 2010, 9(8): 602–603.
- [16] 段瑞华, 韩方胜, 杨波, 等. 0.15% 阿维·印楝素颗粒剂防治番茄根结线虫病田间药效试验[J]. 上海蔬菜, 2008(3): 50. DUAN R H, HAN F S, YANG B, et al. Field efficacy test for control of tomato root knot nematode disease with 5% avi azadirachtin granule[J]. *Shanghai Vegetables*, 2008(3): 50.
- [17] 万景旺, 邵颖, 朱华, 等. 生防菌Jdm2与生物源农药混用防治黄瓜根结线虫病的效果[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(4): 108–110. WAN J W, SHAO Y, ZHU H, et al. Bio-control bacteria Jdm2 and biological pesticide combination prevention effect of cucumber root knot nematode disease[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2014, 42(4): 108–110.
- [18] 易允喻, 马希汉, 赵忠, 等. 苦杏壳木醋液最小抑菌浓度及其抑菌活性的稳定性[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(6): 127–131. YI Y Y, MA X H, ZHAO Z, et al. Minimal inhibitory concentration and activity stability of bitter almond shell pyroligneous acid to bacteria[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2014, 29(6): 127–131.
- [19] 施琳. 山杏壳木醋液有效成分及生物活性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013. SHI L. Biological activities and chemical pro-
- files of wood vinegar from bitter almond shell[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2013.
- [20] 李维蛟, 李强, 胡先奇. 木醋液的杀线活性及对根结线虫病的防治效果研究[J]. 中国农业科学, 2009, 42(14): 4120–4126. LI W J, LI Q, HU X Q. Nematicidal activity and control efficiency of pyroligneous liquor on *Meloidogyne* spp. [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(14): 4120–4126.
- [21] 孙燕芳, 白成, 龙海波. 苏云金杆菌00-50-5发酵上清液对南方根结线虫杀虫活性研究[J]. 福建农业学报, 2017, 32(4): 410–414. SUN Y F, BAI C, LONG H B. Nematicidal activity of supernatant from *Bacillus thuringiensis* fermentation[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2017, 32(4): 410–414.
- [22] DING L, XU Y M, WANG J M. Toxic effect and identification of biocontrol potential bacterium PFMP-5 on root knot nematodes[J]. *Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2017, 37(5): 330–334.
- [23] ZHAO H, FAN H Y, ZHAO D, et al. Controlling efficiency of *Bacillus Snee709* against root-knot nematode and its growth-promoting effect on tomato[J]. *China Plant Protection*, 2018, 38(7): 13–19.
- [24] YAO M L, FAN H Y, ZHOU Y Y, et al. Biocontrol efficacy of metabolites by *Penicillium chrysogenum* snef2367 against *Meloidogyne incognita*[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2018, 49(2): 143–149.
- [25] ZHU J Y, WANG J Y, GAO C H, et al. Effects of *Bacillus* spp. AMCC100153 on growth of greenhouse tomato and controlling efficiency of root-knot nematodes[J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2018, 18: 67–70.
- [26] XU H, QIAN C H, DONG M, et al. Effect of bamboo pyroligneous liquid, plant extract and their mixture on the second instars larvae and eggs of *Meloidogyne incognita*[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2018, 34(10): 120–125.
- [27] LIANG Y Q, YANG Y, LIU Y, et al. Control effect of root irrigation with bamboo vinegar on tomato root knot nematode[J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2017, 21(4): 40–43.
- [28] 刘丹丹, 段玉玺, 陈立杰. 酸类化合物对番茄根结线虫病的防治效果及对植株生长的影响[J]. 中国蔬菜, 2012(14): 95–98. LIU D D, DUAN Y X, CHEN L J. Effect of acid compound on controlling tomato root knot nematode and plant growth[J]. *Chinese Vegetables*, 2012 (14): 95–98.

(责任编辑:朱晓昱)