

叶旻硕, 俞键烽, 马艳, 等. 不同微生物菌剂对辣椒疫病的防控效果及对土壤性状的影响[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(4): 811-817.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2019.04.009

不同微生物菌剂对辣椒疫病的防控效果及对土壤性状的影响

叶旻硕¹, 俞键烽¹, 马艳², 黄有军¹

(1. 浙江农林大学林业与生物技术学院, 浙江 杭州 311300; 2. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210014)

摘要: 采用盆栽试验的方法, 研究解淀粉芽孢杆菌(BB2)、长枝木霉(TB2)、棘孢曲霉(BAS1) 3种微生物菌剂对辣椒疫病的防控效果以及对土壤性状的影响。通过测定病情指数、植株生物量、土壤化学及土壤微生物等指标, 研究不同处理下辣椒疫病的发生程度以及相应土壤性状的变化特征。研究结果表明, 3种微生物菌剂均有一定的防控效果; 辣椒移栽前期, BAS1处理从第13 d开始病情指数增长较快, 第19 d后增长逐渐平缓, 而BB2、TB2处理则从第25 d起病情指数开始加速增长; 移栽后40 d, 各处理的防治效果从高到低依次为BB2、TB2、BAS1, 其中BB2的防治效果最高, 达到了60%以上。土壤微生物数量测定结果显示, 3种微生物菌剂处理后, 土壤中相应微生物的数量显著高于其他处理, 而辣椒疫霉的数量显著低于对照, 表明3种微生物在辣椒根际均有较好的定殖作用, 且能抑制病原菌的增殖。

关键词: 辣椒疫病; 微生物菌剂; 土壤微生物; 定殖; 辣椒疫霉

中图分类号: S432.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2019)04-0811-07

Effects of different microbial inoculants on pepper blight suppression and soil properties

YE Min-shuo¹, YU Jian-feng¹, MA Yan², HUANG You-jun¹

(1. School of Forestry and Bio-technology, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Hangzhou 311300, China; 2. Institute of Agricultural Resource and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: The biocontrol effect of *Bacillus amyloliquefaciens* (BB2), *Trichoderma longibrachiatum* (TB2), and *Aspergillus aculeatus* (BAS1) on pepper blight caused by *Phytophthora capsici* was investigated through pot experiment. By measuring disease index, plant biomass, soil chemical properties and soil microorganism, the occurrence degree and the variation characteristics of corresponding soil properties under different treatments were studied. The pot experiment suggested that all the three microbial inoculants showed disease inhibition effect on pepper blight. In the early stage of pepper transplanting, the disease index increased rapidly from the 13th day of BAS1 treatment, and gradually slowed down from the 19th day. However, the disease index increased rapidly from the 25th day of BB2 and TB2 treatments. The BB2 treatment showed the highest preventive efficiency, which reached to 60%, followed by TB2 and on the 40th day after transplanting.

The number of corresponding microorganisms in the three microbial agents treatments was significantly higher than that in the other treatments, while the number of *Phytophthora capsici* was significantly lower than that in the control, indicating that the three microorganisms had good colonization in the rhizosphere of pepper, and could inhibit

收稿日期: 2018-10-18

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0201007); 江苏省重点研发计划项目(现代农业)(BE2017379-1)

作者简介: 叶旻硕(1993-), 男, 浙江杭州人, 硕士研究生, 主要从事设施园艺作物的研究。(E-mail) 345468519@qq.com

通讯作者: 黄有军, (E-mail) hyj@zafu.edu.cn

the proliferation of pathogens.

Key words: pepper blight; microbial inoculants; soil microorganism; colonization; *Phytophthora capsici*

辣椒疫病是由辣椒疫霉引起的具有毁灭性的土传病害,自该病被发现以来,在辣椒产区均有发生,除危害辣椒外,辣椒疫霉也可侵染番茄、茄子、黄瓜、西瓜、南瓜等多种作物^[1-2]。20世纪中后期以来,中国多个省市曾爆发过辣椒疫病,并造成了严重的经济损失^[3-5]。防控辣椒疫病已经成为辣椒生产中必须解决的重大难题。轮作、嫁接、化学农药都能在辣椒疫病防控中起到一定的效果,但受到土地因素、抗病性以及环境等问题的影响,在实际操作中均存在一定的困难,至今在生产上仍然缺乏高效、经济的防控技术^[6-12]。

采用对辣椒疫霉具有拮抗作用的微生物防控辣椒疫病是一种环境友好的有效方法,已取得较好的进展,其中,芽孢杆菌和木霉菌繁殖速度快、生命力强,并能产生有机酸、酶以及抗菌肽等丰富的代谢物,对植株具有促生以及对病原菌具有寄生作用等优势特征而被研究和应用较多^[13-16];曲霉属真菌也是环境中广泛存在的一大类微生物,该属真菌易于培养且繁殖迅速,同时能分泌大量的有机酸,通过影响病原菌过氧化物酶及多酚氧化酶的活性,从而达到对病原菌的抑制作用,而关于该属真菌在土传病害上的应用与研究较少^[17-18]。另外,关于采用防病微生物防控土传病害的效果,已有的研究大多关注防病效率和地上部性状,而对土壤性状特别是对外源接种的防病微生物在土壤的定殖情况以及对靶标病原菌的影响研究较少,而这恰恰是影响土传病害防控效果的关键因素之一。

鉴于此,本实验室在前期研究中筛选获得对辣椒疫霉有较好抑制作用的芽孢细菌 BB2、长枝木霉 TB2 以及棘孢曲霉 BAS1,为了探究其对辣椒疫病的防控效果以及可能的土壤学机理,本研究拟通过盆栽试验开展 3 种微生物对辣椒疫病的防控效果研究,通过测定土壤多种化学和微生物指标,初步阐明 3 种微生物对土壤性状的影响,以期利用有益微生物防控辣椒疫病的机制研究提供新思路和挖掘新的菌种资源。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试土壤 试验土壤采自江苏省南京市六合区

连续种植辣椒的塑料大棚内。土壤基本理化性状为,有机质 20.1 g/kg,全氮 1.1 g/kg,有效磷 68.2 mg/kg,速效钾 227.0 mg/kg,电导率 520 $\mu\text{S}/\text{cm}$,pH 值 7.9。

1.1.2 供试作物 辣椒品种为苏椒 5 号。

1.1.3 供试菌种 供试病原菌为辣椒疫霉(*Phytophthora capsici*),由本实验室分离、鉴定和保存。供试防病微生物菌株为解淀粉芽孢杆菌 BB2(*Bacillus amyloliquefaciens*)、长枝木霉 TB2(*Trichoderma longibrachiatum*)和棘孢曲霉 BAS1(*Aspergillus aculeatus*),由本实验室分离、鉴定和保存。

1.1.4 供试培养基 胡萝卜培养基:胡萝卜切块,200 g 胡萝卜匀浆浸出液定容至 1 000 ml,琼脂 20 g,121 $^{\circ}\text{C}$ 灭菌 20 min,用于培养辣椒疫霉。

LB 培养基:酵母膏 5 g,NaCl 10 g,蛋白胨 10 g,水 1 000 ml,pH 7.2,121 $^{\circ}\text{C}$ 灭菌 20 min,用于芽孢细菌的平板培养。

虎红培养基:蛋白胨 5.0 g,葡萄糖 10.0 g,磷酸二氢钾 1.0 g,硫酸镁($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 0.5 g,琼脂 20.0 g,1/3 000 加拉红溶液 100 ml,氯霉素 0.1 g,水 1 000 ml,121 $^{\circ}\text{C}$ 灭菌 20 min,用于真菌的平板培养。

燕麦培养基:燕麦粉 20 g,水 1 000 ml,121 $^{\circ}\text{C}$ 灭菌 20 min,用于细菌及真菌的液态培养。

麸皮培养基:含水量 60%,麸皮过 0.5 mm 筛,加入稻草秸秆以保证透气性,稻草秸秆与麸皮的体积比为 1:7,稻草平均长度为 3 cm,121 $^{\circ}\text{C}$ 灭菌 20 min,用于细菌及真菌的浅盘培养。

1.1.5 其他 供试草炭:草炭 121 $^{\circ}\text{C}$ 灭菌 20 min 后在 50 $^{\circ}\text{C}$ 下烘干至恒质量,再对其进行粉碎过 30 目筛备用。

1.2 试验方法

1.2.1 辣椒疫霉游动孢子的制备 将辣椒疫霉菌丝块接种到胡萝卜固体平板,28 $^{\circ}\text{C}$ 培养 5 d 后在培养箱中连续光照培养 48 h(诱发孢子囊的产生),然后在平板中滴入清水 5 ml,置于 4 $^{\circ}\text{C}$ 环境中放置 10 min 后对清水中的辣椒疫霉游动孢子数量进行镜检计数,再将产生大量游动孢子的培养基加水后用匀浆机打碎(每个平板加约 100 ml 水)均匀,混合备用。

1.2.2 3 种微生物的菌剂制备 菌剂制备分为 4

步,分别为平板培养、液态培养、固态培养和草炭吸附。

解淀粉芽孢杆菌 BB2 菌剂制备。该菌株在各阶段的培养温度均为 35 ℃。首先采用 LB 培养基进行平板培养,培养时间为 2 d。平板培养完成后将单菌落挑入燕麦培养基,每 100 ml 培养基接种 3~5 个菌落,在转速为 180 r/min 的条件下培养 2 d,然后将菌液倒入事先灭菌的麸皮培养基中,每 1 000 g 培养基接入 100 ml 菌液。将麸皮培养基与菌液拌匀后在消毒过的浅盘上铺开,培养基厚度为 3 cm,培养基上面铺上事先灭菌的纱布,每天喷洒适量超纯水以保持湿润,培养 6 d 后采用灭菌的草炭吸附,草炭与麸皮培养基的质量比为 1:1,获得解淀粉芽孢杆菌 BB2 的固体菌剂备用。

长枝木霉 TB2 菌剂制备。该菌株在各阶段的培养温度均为 30 ℃。将在 PDA 试管斜面活化好的长枝木霉 TB2 分生孢子接种到虎红平板培养基培养 4 d,然后将直径为 8 mm 的 3 块 TB2 菌丝块接种到 100 ml 燕麦培养基,在转速为 180 r/min 的条件下培养 2 d,后续步骤同解淀粉芽孢杆菌 BB2。

棘孢曲霉菌剂制备方法同长枝木霉 TB2 菌剂制备方法。

1.2.3 盆栽实验 试验时间为 2018 年 1 月 2 日至 2 月 11 日,试验地点位于江苏省农业科学院温室大棚。试验共设置 4 个处理,分别为对照(CK):土壤中接种辣椒疫霉;BB2:土壤中接种辣椒疫霉和解淀粉芽孢杆菌 BB2 菌剂;TB2:土壤中接种辣椒疫霉和长枝木霉 TB2 菌剂;BAS1:土壤中接种辣椒疫霉和棘孢曲霉 BAS1 菌剂。辣椒疫霉接种量为每 1 g 土 20 个游动孢子,3 种微生物菌剂处理中,土壤中 3 种微生物的数量分别均为 1×10^7 CFU/g(干土)。

参照田间种植条件下肥料的用量,分别在土壤中加入磷酸二氢钾、尿素和牛粪商品有机肥,3 种肥料的添加量分别是 0.02%、0.02% 和 1.00% (质量比),将处理后的土壤拌匀并装入盆中(每盆 500 g),移栽 4~6 叶期的辣椒苗,每盆种植 1 棵,每个处理设置 3 个重复,每个重复 10 盆,在种植过程中,每 2 d 观察 1 次,并记录辣椒发病率,统计其病情指数及防治效率。种植 40 d 后,破坏性采集辣椒植株和根系土壤样品,按照相关方法要求,测定相关指标。

1.2.4 辣椒生物量的测定 测定辣椒株高及地上部、地下部及果实干质量。鲜样经 105 ℃ 杀青 30 min,70 ℃ 烘干至恒质量后称质量。

1.2.5 土壤主要化学和养分指标测定 土壤全氮采用凯氏定氮法测定;有效磷采用 0.05 mol/L NaHCO_3 钼锑抗比色法测定;土壤速效钾采用 NH_4OAc 浸提法测定,土壤有机质的测定采用重铬酸钾容量法;土壤 pH 值以水为浸提液,土水比 1:5 (质量比),用 pH 计测定;电导率用电导率仪测定^[19]。

1.2.6 土壤微生物数量测定 采用 Real-time PCR 测定土壤微生物数量,采用 SYBR Premix *Ex Taq*™ 试剂盒(宝生物工程公司)于 ABI (Applied Biosystems) PRISM 7500 Real-time PCR System 扩增仪上对 DNA 样品进行绝对定量 PCR 分析。Real-time PCR 扩增反应采用 96-well Fast Thermal Cycling plate,反应体系 20 μl ,反应液包括 10.0 μl SYBR Premix *Ex Taq*™ (2 \times)、上下游引物各 0.4 μl 、0.4 μl ROX Reference DyeII (50 \times)、2.0 μl DNA 模板、6.8 μl 灭菌双蒸水,每个土壤 DNA 样品做 3 个重复。采用两步法 Real-time PCR 扩增标准程序:第 1 步预变性,95 ℃ 30 s;第 2 步 PCR 反应,95 ℃ 5 s,60 ℃ 34 s,40 循环;熔解过程,95 ℃ 15 s,60 ℃ 1 min,95 ℃ 15 s,得出扩增产物的 *Ct* 值和熔解曲线。

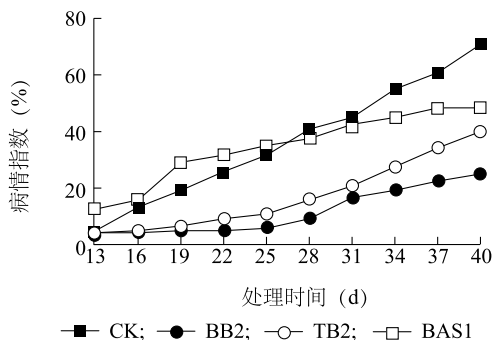
芽孢杆菌的引物序列为 BacF (5'-GGGAAAC-CGGGGCTAATACCGGAT-3') 和 1378R (5'-CGGTGTG-TACAAGGCCCCGGGAACG-3')^[20],木霉的引物序列为 uTf (5'-AACGTTACCAAAGTGTG-3') 和 uTr (5'-AAGTTCAGCGGGTATTCCT-3')^[21],曲霉的引物序列为 Asp2 (5'-ACCCCCCTGAGCCAGTCCG-3') 和 AspG (5'-GCCAGCGAGTACATCACCTTGG-3')^[22],细菌的引物序列为 338f (5'-ACTCCTACGGGAGGCAGCAG-3') 和 534r (5'-ATTACCGCGGCTGCTGG-3')^[21],真菌的引物序列为 NS1 (5'-GTAGTCATATGCTTGTCTC-3') 和 Fung (5'-ATTCCCCGTTACCCGTTG-3')^[21],辣椒疫霉的引物序列为 CAPFW (5'-TTTAGTT-GGGGTCTTGTACC-3') 和 CAPRV1 (5'-CCTCCA-CAACCAGCAACA-3')^[21]。

1.2.7 数据处理 测定数据经 Microsoft Excel 2010 软件整理后,用 SPSS 22.0 软件进行统计分析。文中各指标数值均为 3 次重复的平均值。

2 结果与分析

2.1 不同微生物菌剂处理对辣椒疫病的防控效果

如图 1,在试验观察期 40 d 内,辣椒栽植后的第 13 d 起,各处理陆续开始发病,且随时间延长,各处理病情指数均呈逐渐上升趋势。BAS1 处理从第 13 d 开始病情指数增长较快,第 19 d 后逐渐平缓,而 BB2、TB2 处理则从第 25 d 起病情指数开始加速增长,到第 28 d 时,对照(CK)病情指数达到 50%,其他各处理均小于 50%。28 d 后病情指数增长有所加速,对照(CK)尤为明显。发病末期(第 37 d 以后)对照(CK)病情指数仍在上升,其他各处理增长趋于平缓。第 40 d 时,BB2 处理、TB2 处理与对照(CK)的病情指数差异显著,而 BAS1 处理与对照(CK)的病情指数没有显著差异。

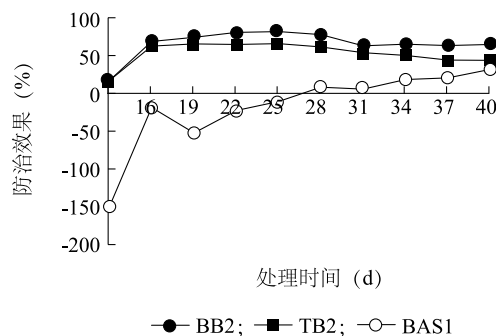


CK:土壤中接种辣椒疫霉;BB2:土壤中接种辣椒疫霉和解淀粉芽孢杆菌 BB2 菌剂;TB2:土壤中接种辣椒疫霉和长枝木霉 TB2 菌剂;BAS1:土壤中接种辣椒疫霉和棘孢曲霉 BAS1 菌剂。

图 1 不同微生物菌剂处理下辣椒疫病的病情指数

Fig.1 Disease index of pepper blight under different microbial inoculant treatments

图 2 也显示了 4 个处理的辣椒从栽植的第 13 d 到第 40 d 期间防治效果的变化。试验初期(第 13 d 以前)各处理的防治效果不明显,第 13 d 至第 16 d 有明显的防治效果。BB2、TB2 2 个处理在第 13 d 至



BB2、TB2、BAS1 见图 1 注。

图 2 不同微生物菌剂处理下辣椒疫病的防治效率

Fig.2 Control effect of pepper blight under different microbial inoculant treatments

第 16 d 防治效果处于较高水平,在第 16 d 后防治效果逐渐趋于稳定。BAS1 处理则在整个试验阶段都呈上升趋势。值得注意的是 3 种处理在第 16 d 防治效果均出现了明显的增高,随后逐渐趋于平缓,说明第 16 d 可能是比较重要的时间节点。移栽后 40 d,各处理的防治效果从高到低依次为 BB2、TB2、BAS1,其中 BB2 的防治效果达到 60% 以上。

2.2 不同微生物菌剂处理对辣椒生物量的影响

栽植 40 d 后的辣椒生物量测定结果(表 1)表明,微生物菌剂处理对辣椒的生长起到了促进作用,但各处理有所差异。在果实干质量指标上 TB2、BB2 2 个处理与 CK 相比达到了显著差异($P < 0.05$)。在地下部干质量上,BB2、TB2 处理达到了对照(CK)的 4 倍以上,BAS1 处理则达到了对照(CK)时 2 倍。因辣椒疫病是从根茎部进行侵染,故在地上部干质量上,与对照(CK)相比各处理虽均达到了显著差异水平,但并没有地下部分差距明显。在株高指标上各处理间差异不明显,BB2、TB2 2 个处理与对照(CK)差异显著。在座果率上,各处理均与对照(CK)差异显著。

表 1 不同微生物菌剂处理下辣椒的生物量

Table 1 Biomass of pepper treated with different microbial inoculants

处理	辣椒果实干质量(g)	地下部干质量(g)	地上部干质量(g)	总干质量(g)	株高(cm)	座果率(%)
CK	0.23±0.06 c	2.23±0.98 b	6.54±1.24 b	9.01±1.66 d	9.33±2.52 c	6.67±5.77 b
BB2	5.95±0.96 ab	9.07±0.22 ab	10.21±0.41 a	25.23±1.33ab	20.33±1.53 ab	56.67±5.77a
TB2	6.51±0.89 ab	9.81±0.94 a	10.00±0.66 a	26.32±0.60 a	19.00±1.00 ab	50.00±0.00 a
BAS1	3.08±2.17 bc	5.99±0.70 ab	9.28±0.49 a	18.35±2.35 c	14.67±1.53 bc	43.33±5.77 a

CK、BB2、TB2、BAS1 见图 1 注。同一列数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

2.3 不同微生物菌剂处理对辣椒根际土壤理化指标的影响

由表 2 可知,在电导率指标上,BB2、TB2 2 个处理与对照(CK)相比具有显著差异。在 pH 指标上,BB2、BAS1 2 个处理与原始土壤相比 pH 值变动不大,其中 BAS1 处理略微偏高。

在土壤营养指标上,各处理均与对照(CK)有显著差异。有效磷, BAS1 处理的含量最高,与各处理

相比均高出了 10% 以上,可能是由于 BAS1 的解磷效果所致。速效钾,3 个处理之间没有显著差异,但均显著低于对照(CK),辣椒在正常生长情况下消耗了部分速效钾。全氮,BB2、TB2 2 个处理处于较低水平,且具有显著差异。有机质,从低到高依次为 TB2 处理、BB2 处理、BAS1 处理、对照(CK),各处理与对照(CK)相比均有显著差异。

表 2 不同微生物菌剂处理辣椒移栽后第 40 d 根际主要理化指标

Table 2 Main physical and chemical indicators on the 40th day after transplanting of pepper treated with different microbial inoculants

处理	电导率 (uS/cm)	pH	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	全氮 (g/kg)	有机质 (g/kg)
CK	338±42c	8.00±0.04a	93.13±0.40b	179.67±13.65a	1.18±0.01a	26.35±0.12a
BB2	476±35a	7.91±0.08a	80.90±0.70b	106.33±8.02b	1.03±0.02b	23.53±1.48bc
TB2	450±10ab	8.02±0.06a	90.90±0.89b	97.33±4.73b	1.03±0.05b	23.19±0.56c
BAS1	395±3bcd	7.89±0.02a	114.97±0.55a	93.67±2.08b	1.16±0.04a	25.75±0.32b

CK、BB2、TB2、BAS1 见图 1 注;同一列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

2.4 不同微生物菌剂处理对辣椒根际微生物数量的影响

试验结束时(第 40 d),辣椒根际微生物数量的测定结果(表 3、表 4)表明,添加微生物菌剂对根际微生物的数量产生了较大的影响,其中对照(CK)的细菌总量与真菌总量均处于较高水平。

表 3 不同微生物菌剂处理辣椒移栽后第 40 d 每 1 g 土壤细菌、真菌总量

Table 3 Total amount of bacteria and fungi per gram of soil in different microbial inoculant treatments on the 40th day after transplanting

处理	细菌总量 ($\times 10^9$)	真菌总量 ($\times 10^8$)
CK	7.00±1.73ab	13.67±1.53ab
BB2	7.47±0.74a	2.13±0.60c
TB2	3.17±1.27c	11.43±1.91ab
BAS1	4.07±1.87bc	27.01±5.20a

CK、BB2、TB2、BAS1 见图 1 注。

表 4 不同微生物菌剂处理辣椒移栽后第 40 d 每 1 g 土壤各种微生物的数量

Table 4 Total amount of microorganism per gram of soil in different microbial inoculant treatments on the 40th day after transplanting

处理	芽孢杆菌	木霉	曲霉	辣椒疫霉
CK	187.28±9.14c	2.18±0.16b	4.37±0.18b	76.60±7.07a
BB2	662.80±29.39a	2.05±0.06b	3.57±0.46b	26.34±2.84c
TB2	188.40±7.09c	39.14±2.59a	3.63±0.33b	26.61±2.50c
BAS1	205.86±5.55bc	1.10±0.20b	124.08±8.31a	35.63±0.97b

CK、BB2、TB2、BAS1 见图 1 注。

就细菌总量而言,BAS1、TB2 2 个处理与对照(CK)相比显著降低,表明真菌长枝木霉、棘孢曲霉均从一定程度上抑制了细菌的生长。各处理均有一定数量的芽孢杆菌,但加入 BB2 菌剂处理的芽孢杆菌数量明显较高,与其他几个处理相比高出了 2~3 倍。

就真菌总量而言,BB2 处理均处于较低水平,其余处理相对较高,其中 BAS1 处理比对照(CK)高出了 2 倍以上。TB2 处理中木霉数量显著高于其他处理,BAS1 处理中曲霉数量显著高于其他处理,表明木霉与曲霉已经分别在 TB2 处理、BAS1 处理中处于优势种群。

在各处理中均检测到了辣椒疫霉,但各处理辣椒疫霉数量均显著低于对照(CK),3 种微生物菌剂均对辣椒疫霉产生了一定的抑制作用。

3 讨论

本试验研究了分别施用解淀粉芽孢杆菌、长枝木霉、棘孢曲霉菌剂对辣椒疫病的防控效果。结果表明,试验初期病症不明显,各处理之间差异不大。但随着时间的推移,防治效果开始逐步显现,试验中期可以肉眼观察到处理间防治效果的区别,试验后期各处理间差距逐渐变大,最终达到显著水平。

郝楠等^[23]将侧孢短芽孢杆菌 A60 进行室内防疫测定,该菌种试验末期对辣椒疫病的防治效果达

到了70%,但该试验周期仅为7 d,发病速度较快,本试验BB2菌种虽在试验末期防治效果略微低于其结果,但试验周期达到了40 d,更加具备生产上的应用价值。汪涛等^[24]将多黏类芽孢杆菌TC35的乳糖酵母粉发酵液对辣椒茎基部喷淋,防治效果达到了80%以上,施用发酵液使土壤中的芽孢杆菌浓度更高,从而起到了更好的防控效果,但运用到生产中会使成本大幅增加。杨威等^[25]的研究结果表明芽孢杆菌能在根际中稳定定殖,并能提高土壤中酶的活性,从而对土壤中的微生物多样性起到积极的作用。本研究的各处理中均检测到了芽孢杆菌,但BB2处理处于较高水平,其细菌总量也处于较高水平,真菌总量则处于较低水平。

席亚东等^[26]结合前人的经验,进行了30种不同的木霉对辣椒疫霉防控效果的平板拮抗试验、盆栽试验,结果发现绝大部分木霉菌种防效均在40%以下。本次试验中单一菌种长枝木霉TB2的防效达到了43%,在木霉菌种中防治效果处于领先地位。王宁等^[27]针对木霉对土壤微生物多样性的影响做了相关研究,结果表明木霉对细菌多样性影响较小,使真菌多样性显著降低,在本研究中木霉是优势种群,与其研究结果相一致,而细菌总量较对照(CK)有所减少。胡琼等^[28]对木霉TC菌种进行了研究,结果表明木霉与甲霜灵一起施用比二者单独施用效果更好,为菌剂的配方提供了新思路。

目前关于曲霉对土壤微生物的影响鲜有报道。本试验中棘孢曲霉BAS1在试验前期防治效果没有显现,但在移栽28 d时开始表现出一定的防病效果,到40 d时防治效果达到30%。梁军锋^[29]开展疏展曲霉F1的研究,通过128 d的比较试验,结果表明其对辣椒的地下部分生长能起到促生作用,与前人的试验相比,本研究辣椒疫霉接种量较大,作物发病较快,棘孢曲霉对地下部的促生作用可能还没有得到体现。本研究中虽然曲霉的防控效果低于芽孢杆菌和木霉,但试验结束时,曲霉的数量显著增高,防控效果也随着时间延长而逐渐增长,其作用时间及有效性可能更长,值得进一步研究。

综上,从各项指标来看,施用3种微生物菌剂均对辣椒疫病产生了一定的抑制作用,并对辣椒的生长有一定的促生作用;同时,3种微生物菌剂可能通过改变根际微生物的组成和优势种群的数量继而达到防控病害的效果,后续将继续开展病害防控效果

提升和防控机理的相关研究。

参考文献:

- [1] KIM K D, NEMEC S, MUSSON G. Effects of composts and soil amendments on soil microflora and Phytophthora root and crown rot of bell pepper[J]. Crop Protection, 1997, 16(2): 165-172.
- [2] 周涛, 罗路云, 陈红松, 等. 辣椒疫病罹病植株根际土壤细菌群落多样性分析[J]. 南方农业学报, 2017, 48(6): 1014-1018.
- [3] 张世才, 熊艳, 黄任中, 等. 重庆地区辣椒疫霉菌的分离培养及生理小种鉴定[J]. 植物保护, 2015, 41(3): 183-187.
- [4] 杨叔青, 胡栓红, 杨志刚, 等. 不同地区辣椒疫霉菌生理小种的鉴定和生物学特性的研究[J]. 华北农学报, 2015, 30(2): 104-109.
- [5] 薛春生, 何瑞珏, 肖淑芹, 等. 辽宁省辣椒疫霉菌生理小种的生物学特性及生物制剂对辣椒疫病的防效[J]. 植物保护学报, 2017, 44(4): 650-656.
- [6] 王新生, 卢惠芝, 周俊. 5种杀菌剂防治辣椒疫病田间药效试验[J]. 农药科学与管理, 2009, 30(4): 34-35.
- [7] JANG Y, YANG E, CHO M, et al. Effect of grafting on growth and incidence of phytophthora blight and bacterial wilt of pepper (*Capsicum annuum* L.)[J]. Horticulture Environment & Biotechnology, 2012, 53(1): 9-19.
- [8] FRANK J L, RIVARD C L, KUBOTA C. Grafting fruiting vegetables to manage soilborne pathogens, foliar pathogens, arthropods and weeds[J]. Scientia Horticulturae, 2010, 127(2): 127-146.
- [9] 吴石平, 袁洁, 杨学辉, 等. 几种杀菌剂对辣椒疫病的抑菌活性研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(1): 211-212.
- [10] 苏荣存. 嫁接栽培对辣椒产量和抗病性的影响[J]. 北方园艺, 2012(1): 43-44.
- [11] 杨茹薇, 秦勇, 吴慧, 等. 辣椒嫁接抗病效果研究[J]. 新疆农业大学学报, 2010, 33(1): 27-30.
- [12] 席亚东, 陈国华, 谢丙炎, 等. 辣椒疫霉菌全球传播与危害及生物学特性研究进展[J]. 北方园艺, 2016(11): 199-203.
- [13] 何延静, 刘海明, 胡洪波, 等. 一株拮抗辣椒疫霉的假单胞菌的分离与鉴定[J]. 微生物学报, 2006, 46(4): 516-521.
- [14] 韩长志. 植物病原拮抗菌木霉属真菌的研究进展[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(4): 946-952.
- [15] 李松鹏, 崔琳琳, 程家森, 等. 两株哈茨木霉菌株防治水稻纹枯病及促进水稻生长的潜力研究[J]. 植物病理学报, 2018, 48(1): 98-107.
- [16] 覃柳燕, 郭成林, 黄素梅, 等. 棘孢木霉菌株PZ6对香蕉促生效应及枯萎病室内防效的影响[J]. 南方农业学报, 2017, 48(2): 277-283.
- [17] 张阳, 刘重喜, 王相晶, 等. 微生物代谢产物在植物病害防治中的应用[J]. 世界农药, 2013, 35(3): 34-40.
- [18] 曹威蕤, 薛晓峰, 吴黎明. 烟曲霉素及其防治蜜蜂微孢子虫病的研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2016, 18(2): 52-58.
- [19] 劳家桢. 土壤农化分析手册[M]. 北京: 农业出版社, 1988.

- [20] DRIGO B, VEEN J V, KOWALCHUK G A. Specific rhizosphere bacterial and fungal groups respond differently to elevated atmospheric CO₂[J]. ISME Journal, 2009, 3(10): 1204-1217.
- [21] WANG Q, MA Y, WANG G, et al. Integration of biofumigation with antagonistic microorganism can control Phytophthora blight of pepper plants by regulating soil bacterial community structure[J]. European Journal of Soil Biology, 2014, 61(5): 58-67.
- [22] GOEBES M D, HILDEMAN L M, KUJUNDZIC E, et al. Real-time PCR for detection of the Aspergillus genus[J]. Journal of Environmental Monitoring JEM, 2007, 9(6): 599-609.
- [23] 郝楠,全赞华,邱德文.侧孢短芽孢杆菌 A60 的筛选及其对辣椒疫霉的室内防效测定[J].生物技术通报,2017(9): 160-165.
- [24] 汪涛,迟元凯,赵伟,等.多粘类芽孢杆菌 TC35 的鉴定及对辣椒疫病的田间防效[J].安徽农业科学,2018,581(4): 138-139.
- [25] 杨威,闫海霞,张贝贝,等.施用微生物菌肥“宁盾”对辣椒根围细菌多样性及土壤酶活性的影响[J].江苏农业科学,2018,46(9):99-103.
- [26] 席亚东,陈国华,谢丙炎,等.不同木霉菌株对辣椒疫霉菌的防控作用[J].北方园艺,2016(21):115-119.
- [27] 王宁,刘铜,靳亚忠,等.木霉菌对土壤微生物多样性及草莓生长和发病的影响[J].江苏农业科学,2018,46(18):108-112.
- [28] 胡琼,张海松.木霉菌 TC 对辣椒疫病的防治效果[J].北方园艺,2012(3):147-149.
- [29] 梁军锋.辣椒疫病生防菌的防病促生效应、作用机制及应用研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2006.

(责任编辑:陈海霞)