

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2026.01.003

田琳, 曹尚, 周旭, 等. 番茄根腐病及其生防链霉菌的筛选、鉴定及防效研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2026, 48(1): 26-35.

番茄根腐病及其生防链霉菌的 筛选、鉴定及防效研究

田琳, 曹尚, 周旭, 王阳

西北农林科技大学 植物保护学院, 陕西 杨凌 712100

摘要: 番茄根腐病是番茄根部常见且危害严重的土传病害, 为获得对番茄根腐病防治效果优异的生防菌, 从患病番茄根部分离并鉴定病原菌, 以其为靶标病原菌, 筛选出拮抗效果良好的链霉菌, 开展防病促生试验。结果表明: 从番茄患病根部分离出 1 株病原菌, 结合形态学观察、分子生物学鉴定, 确定番茄根腐病的病原菌为木贼镰孢菌 (*Fusarium equiseti*); 平板对峙筛选到 12 株链霉菌对番茄根腐病具有较好的抑制作用, 其中菌株 SC-6 抑制效果最好, 抑菌率可达 56.00%。SC-6 经形态学和分子生物学鉴定为白网链霉菌 (*Streptomyces albireticuli*)。菌株 SC-6 100 倍液对番茄幼苗的促生效果最好, 处理后番茄幼苗的株高、根长、地上鲜质量和地下鲜质量分别增加了 60.41%、81.84%、176.19% 和 42.22%。盆栽试验结果表明: 菌株 SC-6 能有效防治番茄根腐病, 防效可达 50.02%。

关键词: 番茄根腐病; 白网链霉菌; 生物防治

中图分类号: S436.5

文献标识码: A

文章编号: 1673-9868(2026)01-0026-10

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Screening, Identification and Control Effect of Biocontrol *Streptomyces* against Tomato Root Rot

TIAN Lin, CAO Shang, ZHOU Xu, WANG Yang

College of Plant Protection, Northwest A & F University, Yangling Shaanxi 712100, China

Abstract: Tomato root rot, a prevalent and destructive soil-borne disease, severely affects tomato roots. To obtain high-efficacy biocontrol strains against this disease, this study isolated and identified the pathogen from infected tomato roots, designating it as the target pathogen, and screened *Streptomyces* strains

收稿日期: 2024-12-18

基金项目: 国家重点研发计划项目(2023YFD1401200)。

作者简介: 田琳, 硕士研究生, 主要从事蔬菜病害及生物防治研究。

通信作者: 王阳, 博士, 研究员。

with potent antagonistic activity for disease suppression and growth-promotion experiments. The results demonstrated that a pathogen isolated from infected roots was identified as *Fusarium equiseti* through morphological observation and molecular biological identification; Twelve antagonistic *Streptomyces* strains were selected via plate confrontation method, among which strain SC-6 exhibited the strongest inhibitory effect, with an inhibition rate of 56.00%. Strain SC-6 was further identified morphologically and molecularly as *Streptomyces albireticuli*. The 100-fold dilution of SC-6 fermentation broth significantly enhanced tomato seedling growth, increasing plant height, root length, aboveground fresh weight, and underground fresh weight by 60.41%, 81.84%, 176.19%, and 42.22%, respectively. Pot experiments confirmed that SC-6 effectively controlled tomato root rot, with a control efficacy of 50.02%.

Key words: tomato root rot; *Streptomyces albireticuli*; biological control

番茄(*Solanum lycopersicum*)是茄科茄属一年生草本植物,在日常生活和饮食中扮演着极为重要的角色。番茄具有美容护肤、促进消化、预防疾病和增强免疫力等功效^[1]。近年来,由于番茄生产复种指数高、施肥量大、封闭性强、温度高等,土壤中病原菌的数量不断增加,根腐病发生频繁,严重影响了番茄的产量和品质。番茄根腐病病原菌在土壤中存活时间长,主要危害植株茎基部和根部,导致根部腐烂,吸收水分和养分的功能减弱,严重时植株枯死^[2],因此,科学的预防和治理番茄根腐病尤为重要。

根腐病的防治主要采取农业防治和化学防治,农业防治操作繁琐、周期较长且见效较慢;化学防治 3R(抗性 Resistance、再增猖獗 Resurgence、残留 Residue)问题突出。生物防治是一种环保、健康且经济的防治方法,番茄根腐病的生物防治目前已取得较大进展。研究表明,防治番茄根腐病的生防微生物主要有芽孢杆菌属(*Bacillus* spp.)、假单胞菌属(*Pseudomonas* spp.)、链霉菌属(*Streptomyces* spp.)、非致病性镰刀菌属(*Fusarium* spp.)和木霉属(*Trichoderma* spp.)^[3-6]。链霉菌以能够产生丰富的次生代谢物而闻名,天蓝色链霉菌的基因组序列中包含了 20 多个次级代谢产物的生物合成基因簇^[7]。2016 年 Goudjal 等^[8]分离出 3 株链霉菌,能对引起番茄根腐病的尖孢镰刀菌的菌丝生长表现出强烈的拮抗性,显著降低了根腐病的发生率。链霉菌能产生大量的抗生素,基本不产内毒素,致病性小,可进行高密度的培养,工业规模发酵技术基础良好,这些优点使链霉菌在根腐病的防治中有着广泛的应用前景。基于此,本研究从陕西省咸阳市番茄根腐病发病严重的田块中分离并鉴定病原菌,并以其为靶标菌,通过平板对峙法筛选出对番茄根腐病病原菌抑菌效果优良的生防链霉菌,开展温室盆栽试验,旨在为挖掘并研发出对番茄根腐病具有高效防治作用的微生物菌剂奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试菌株:番茄根腐病株采集自陕西省咸阳市根腐病发病严重的田块;12 株生防菌由西北农林科技大学植物保护学院蔬菜病害及生物防治实验室分离保存。

番茄种子(白果强风),新乡市金旺杰种业有限公司;甲霜恶霉灵水剂,山东利邦农化有限公司。

1.2 方法

1.2.1 病原菌的分离

病原菌的分离:取患病番茄植株根部,采用组织分离法得到纯培养物。根据柯赫氏法则^[9]进行验证:将分离得到的纯培养物采用浸根法回接到番茄植株上,以无菌水处理为对照,观察番茄的生长状况。

1.2.2 病原菌的鉴定

病原菌的形态观察:将分离的病原菌接种于 PDA 培养基上,观察病原菌在培养基上的形态、颜色等特征,在光学显微镜下观察其孢子及产孢结构,记录孢子形态、颜色、大小等。

病原菌分子生物学鉴定:利用真菌试剂盒提取病原菌 DNA,参照王彤彤等^[10]的方法。对提取到的 DNA 利用 *ITS* 序列通用引物(*ITS1*: 5'-TCCGTAGGTAACCTGCGG-3'; *ITS4*: 5'-TCCTCCGCTTAT-TGATATGC-3')进行 PCR 扩增。对扩增后的产物进行电泳检测,以确保目的条带清晰准确;送至擎科生物科技有限公司完成 DNA 测序,测序结果在 NCBI(<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>)中进行 BLAST 同源比对,下载相似性高的菌株,并利用 MEGA 11 软件通过 NeighBour-Joining(NJ)法完成系统发育树的构建,重复 1 000 次。

1.2.3 生防链霉菌的筛选

以分离到的番茄根腐病病原菌为靶标病原菌,以实验室保存的菌株为拮抗菌,采用平板对峙法筛选出对番茄根腐病病原菌抑菌效果良好的生防菌。用打孔器将病原菌打成直径为 6 mm 的菌饼,菌丝面朝下接种于 PDA 培养基平板的中央,在两侧相等的距离接种生防菌,以未接种生防菌的另外两侧作为对照,在 28 °C 下培养 7 d 后,测量对照组菌落和处理组菌落的半径,并计算抑菌率^[11-12],每个处理重复 3 次。

1.2.4 生防链霉菌的种类鉴定

培养特征观察:将生防菌 SC-6 分别划线接种于 ISP1-ISP7、高氏一号、PDA 等培养基上,28 °C 恒温培养 7 d,观察并记录生防菌株在 9 种培养基中菌丝是否生长良好、气生菌丝颜色、基内菌丝颜色及可溶性色素的颜色。

生理生化指标测定:生理生化特性试验参考《链霉菌鉴定手册》^[13]进行。耐盐性试验和生长温度等生态条件试验参考陈婧^[14]的方法。

形态特征观察:将生防菌 SC-6 在高氏一号琼脂培养基上培养 7 d 后,置于扫描电子显微镜(SEM)下观察并拍照。

分子生物学鉴定:操作同 1.2.2,使用细菌基因组 DNA 提取试剂盒提取生防菌株 DNA,对提取到的 DNA 采用细菌通用引物进行 16S rDNA 的 PCR 扩增,扩增所用引物及退火温度参照陈婧^[14]的数据。

1.2.5 SC-6 发酵液对番茄幼苗生物量的影响

生防菌 SC-6 发酵液的获取:将培养好的生防菌 SC-6 接种于高氏一号液体培养基中,28 °C 160 r/min,摇培 7 d,得到发酵液原液。

将番茄种子消毒后播种于无菌基质中,等番茄苗长出 3~5 片真叶挑取长势均匀的幼苗进行接菌移栽。采用灌根的方式接种生防菌,设置灌生防菌发酵液 10 倍液、100 倍液、1 000 倍液 3 个处理,设置灌空白培养基处理为对照,每株番茄苗灌 30 mL,20 d 后测量番茄植株的株高、根长、地上鲜质量和干质量、地下鲜质量和干质量等生理指标^[15],3 次重复。

1.2.6 SC-6 发酵液对番茄根腐病的防治效果

病原菌孢子液的获取:将培养好的番茄根腐病病原菌接种至 PDA 培养基中,28 °C、160 r/min 摇培 7 d,用双层无菌纱布过滤后用无菌水配制成浓度为 1×10^7 CFU/mL 的病菌孢子悬浮液。

番茄播种和移栽方法同 1.2.5,移栽前将番茄幼苗的根部浸泡在病原菌的孢子液中 2 h 进行接菌,然后将带菌幼苗移栽进小花盆(长 5 cm,宽 5 cm,高 7 cm)里,每盆 1 株,将花盆浇透水。24 h 后用供试生防菌的发酵液进行灌根处理,每株 30 mL,用接种等体积的高氏一号培养液作为空白对照,按照产品说明书使用甲霜恶霉灵作为化学药剂对照,20 d 后观察番茄的发病情况,计算防效。每处理 15 株,重复 3 次。番茄根腐病分级标准^[16]为:0 级:无病;1 级:茎上出现些微水渍状的病斑;2 级:茎上病斑扩展,但不超过株高 1/4,不萎蔫;3 级:病部超过整株 1/4,向下延伸至根部不超过株高 3/4,茎基部轻微萎蔫;4 级:病部超过整株或蔓延至全株,包括根和叶柄,茎基部严重缢缩,叶片枯萎,已死亡。病情指数(D)和相对防效(E)计算公式为:

$$D = \sum (S \times L) / (T \times M) \times 100 \quad (1)$$

式中: S 为各级病株数; L 为相应级别; T 为调查总株数; M 为最大级别。

$$E = (D_{CK} - D_h) / D_{CK} \times 100 \quad (2)$$

式中: D_{CK} 为对照病情指数; D_h 为处理病情指数。

1.3 数据分析

利用 Excel 2010 进行数据整理, 防治效果、抑菌率等数据采用 SPSS 26.0 统计软件, 应用 Duncan 氏新复极差法进行差异显著性分析, 采用 Adobe Photoshop 2018 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 番茄根腐病的分离结果

从患病番茄根部分离出 1 株病原菌, 将其回接到番茄根部, 7 d 后发现对照组长势明显好于处理组(图 1)。从表现出典型病症的植株中重新分离出病原菌, 获得生长性状与原始分离到的病原菌一致的培养物, 证明原培养物是番茄根腐病的病原菌。



a. 处理组

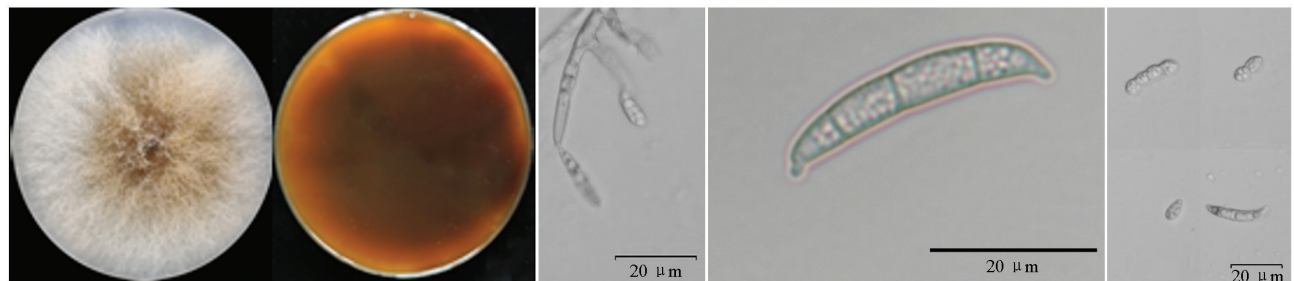
b. 对照组

图 1 番茄幼苗接种 7 d 后植株长势

2.2 番茄根腐病的鉴定结果

2.2.1 形态学鉴定

结果表明: 病原菌在 PDA 培养基上生长迅速, 7 d 可长满全皿, 菌落呈白色绒毛状, 气生菌丝较为发达, 生长后期产生黄褐色色素(图 2a、2b)。光学显微镜下观察产孢情况, 发现在 PDA 培养基上产孢较丰富, 分生孢子梗多分枝(图 2c)。大型分生孢子呈月牙形, 孢子较弯曲, 有 3~6 隔, 约 20~40 μm (图 2d); 小型分生孢子呈卵圆形, 有或无隔, 约 10~25 μm (图 2e)。



a. 菌落正面

b. 菌落背面

c. 分生孢子梗

d. 大型分生孢子

e. 小型分生孢子

图 2 番茄根腐病病原菌菌落形态

2.2.2 分子生物学鉴定

将测序结果在 NCBI 上比对, 显示 *ITS* 基因序列与木贼镰孢菌 (*F. equiseti*) 有较高的相似度。基于 *ITS* 基因序列用 NJ 法进行联合建树, 结果显示根腐病病原菌 (SCGF) 与木贼镰孢菌 (*F. equiseti*) 聚在一支 (图 3), 确定该地区番茄根腐病的致病菌为木贼镰孢菌 (*F. equiseti*)。

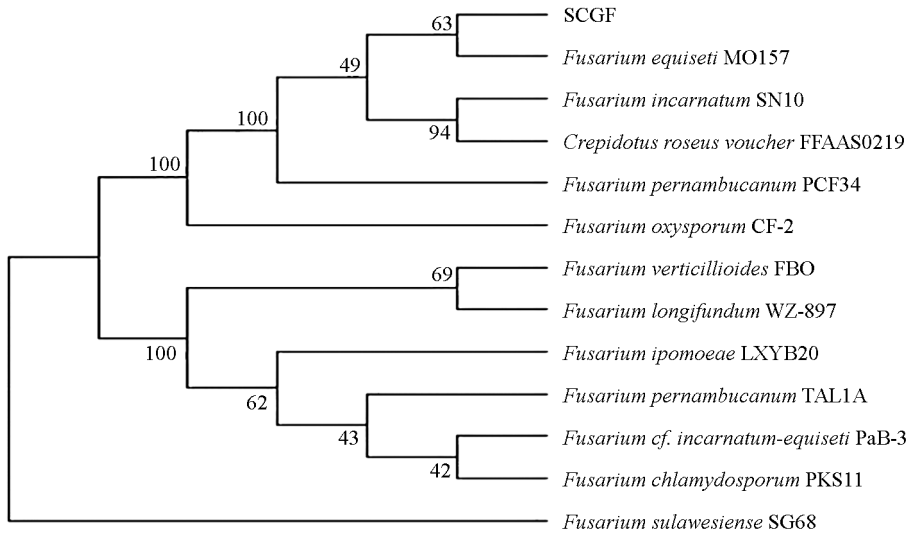


图 3 基于 *ITS* 基因序列用 NJ 法构建的系统发育树

2.3 生防链霉菌的筛选结果

平板对峙结果显示, 12 种生防菌对番茄根腐病有抑制效果, 其中 SC-6 的抑菌效果最好, 抑菌半径可达 14.00 mm, 抑菌率可达 56.00% (表 1)。

表 1 12 株生防菌对番茄根腐病病原菌的抑菌半径和抑菌率

菌株	抑菌半径/mm	抑菌率/%	菌株	抑菌半径/mm	抑菌率/%
YC2-2	13.83±0.75a	46.13±2.51b	LX-24	9.83±1.17e	32.78±3.90d
YC2-3	10.67±0.52de	42.68±2.07bc	XN-04	11.17±0.75cd	44.67±3.01bc
YC2-17	13.83±0.98a	55.33±3.93a	HN5-13	12.3±0.52b	41.11±1.72c
YC5-14	7.00±0.00f	28.00±0.00e	SCII	12.17±0.75bc	40.56±2.51c
YC5-15	14.00±0.82a	46.67±2.72b	S10	7.50±0.58f	30.00±2.31de
LX-18	10.17±1.17de	40.67±4.68c	SC-6	14.00±0.40a	56.00±0.64a

注: 小写字母不同表示 $p < 0.05$, 差异有统计学意义, 下同。

2.4 生防链霉菌 SC-6 的鉴定结果

2.4.1 培养特征观察

结果显示, 生防菌株 SC-6 在 9 种培养基上均生长良好 (图 4)。在不同培养基上培养, 产孢和产色素的情况有一定差别, 在高氏一号培养基上菌丝呈浅粉色; 在 ISP1 培养基上生长最好, 气生菌丝丰茂, 单菌落圆形、扁平, 产生大量浅黄色可溶性色素 (表 2)。

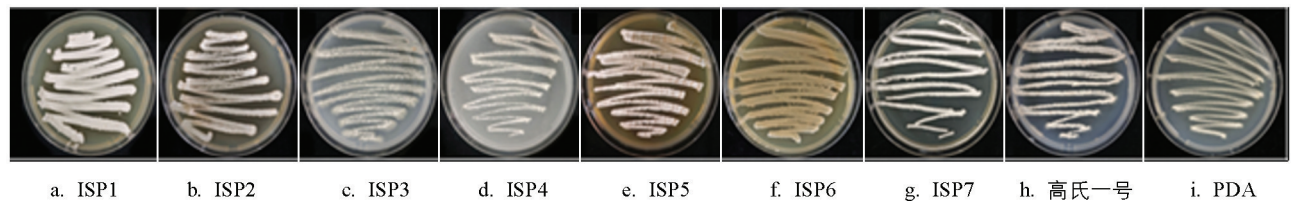


图 4 生防菌株 SC-6 在培养基上的生长状态

表 2 生防菌株 SC-6 的培养特征观察

培养基	培养特征			
	生长状况	气生菌丝颜色	基内菌丝颜色	可溶性色素
ISP1	+++	白色	浅黄色	浅黄色
ISP2	+++	白色	浅黄褐色	浅褐色
ISP3	++	白色	白色	无
ISP4	++	白色	白色	无
ISP5	+++	白色	浅褐色	浅黄色
ISP6	+++	浅黄色	褐色	浅绿色
ISP7	+++	白色	黄色	无
高氏一号	+++	白色	浅粉色	无
PDA	+	白色	白色	无

2.4.2 生理生化指标测定

结果显示,生防菌株 SC-6 可以利用大多数碳源和氮源,不能利用阿拉伯糖、半乳糖和麦芽糖;能产生淀粉水解酶、接触酶和脲酶;能产生硫化氢和黑色素;可以使牛奶凝固和胨化;生长范围:pH 值为 5~10,温度为 10~45 °C(表 3)。

表 3 生防菌株 SC-6 的生理生化特征

碳源	SC-6	氮源	SC-6	其余指标	SC-6
葡萄糖	+	硝酸铵	+	牛奶胨化	+
果糖	+	硝酸钙	-	淀粉水解酶	+
麦芽糖	-	氯化铵	-	产硫化氢	+
半乳糖	-	尿素	-	产黑色素	+
蔗糖	+	甘氨酸	+	接触酶	+
阿拉伯糖	-	硝酸钾	+	脲酶	+
鼠李糖	+	谷氨酸	+	NaCl/%	1~6
肌醇	+	明胶液化	-	pH	5~10
甘露醇	+	牛奶凝固	+	温度/°C	10~45

注:“-”为阴性反应;“+”为阳性反应。

2.4.3 形态特征观察

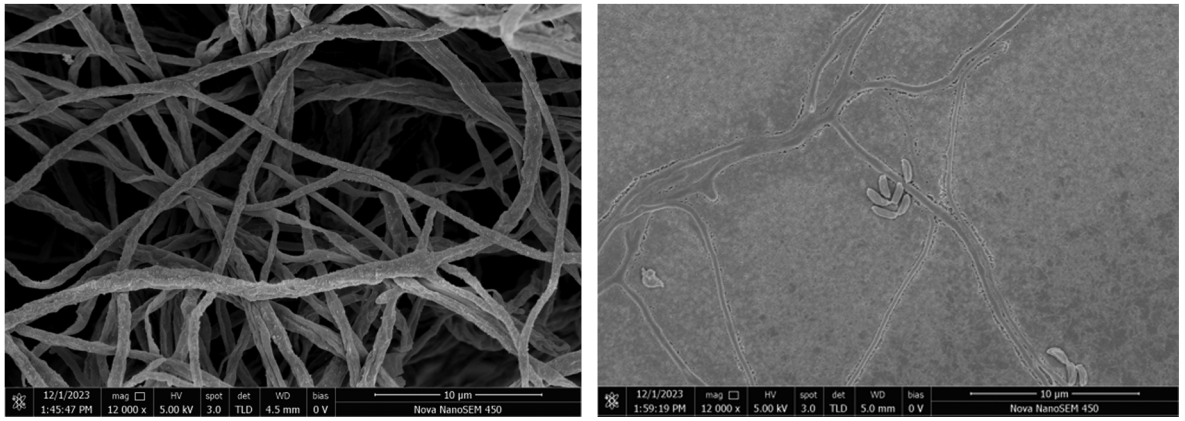
扫描电镜下,生防菌株 SC-6 基内菌丝和气生菌丝具有典型的链霉菌属特征,其孢子丝连续微卷,孢子杆状,表面光滑(图 5)。

2.4.4 分子生物学鉴定

将测序结果在 NCBI 上比对,结果显示,菌株序列与白网链霉菌(*Streptomyces albireticuli*)有较高的相似度。基于 16S rDNA 基因序列构建系统发育树,结果显示 SC-6 与白网链霉菌(*S. albireticuli*)聚在一支上(图 6)。经形态学和分子生物学鉴定,将 SC-6 鉴定为白网链霉菌(*S. albireticuli*)。

2.5 SC-6 发酵液对番茄幼苗生物量的影响

由表 4 可知,生防菌株 SC-6 发酵液对番茄幼苗生物量的影响由大到小依次为 100 倍液、1 000 倍



a. 气生菌丝

b. 孢子对照组

图 5 生防菌株 SC-6 气生菌丝和孢子的扫描电镜观察结果

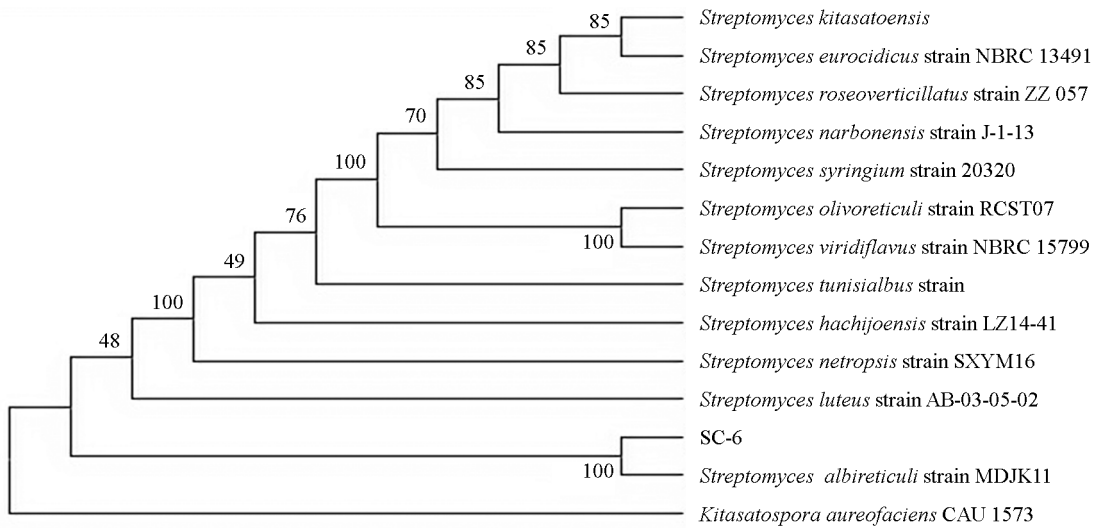


图 6 基于 16S rDNA 序列构建的系统发育树

液、10 倍液。整体上看,生防菌株 SC-6 发酵液处理后的番茄幼苗相关生长性状明显优于对照处理,说明该菌能够促进番茄幼苗的生长,其中 100 倍液处理过的幼苗生长优于其他处理,即生防菌株 SC-6 发酵液 100 倍液的促生效果最好(图 7),其株高、根长、地上鲜质量和地下鲜质量分别增加了 60.41%、81.84%、176.19%和 42.22%。

表 4 生防菌株 SC-6 发酵液对番茄幼苗生物量的影响

处理	株高/ cm	根长/ cm	地上鲜质量/ g	地上干质量/ g	地下鲜质量/ g	地下干质量/ mg
CK	31.17±1.26c	13.93±1.01c	3.57±0.42c	0.15±0.03c	0.45±0.05b	27.00±4.36b
10 倍液	41.93±1.02b	16.00±1.00ab	7.39±0.45b	0.35±0.07b	0.56±0.12ab	50.33±7.57a
100 倍液	50.00±2.60a	25.33±3.51a	9.86±0.88a	0.48±0.23a	0.64±0.09a	51.67±5.67a
1 000 倍液	45.23±2.20b	20.40±3.17b	8.37±0.09b	0.44±0.08ab	0.58±0.13a	51.33±7.64a

2.6 SC-6 发酵液对番茄根腐病的防治效果

盆栽试验结果表明,生防菌株 SC-6 和化学药剂(甲霜恶霉灵)处理均可显著降低番茄根腐病的病情指数及发病率,其中 SC-6 处理后的防效为 50.02%,接近化学防效(图 8 和表 5)。

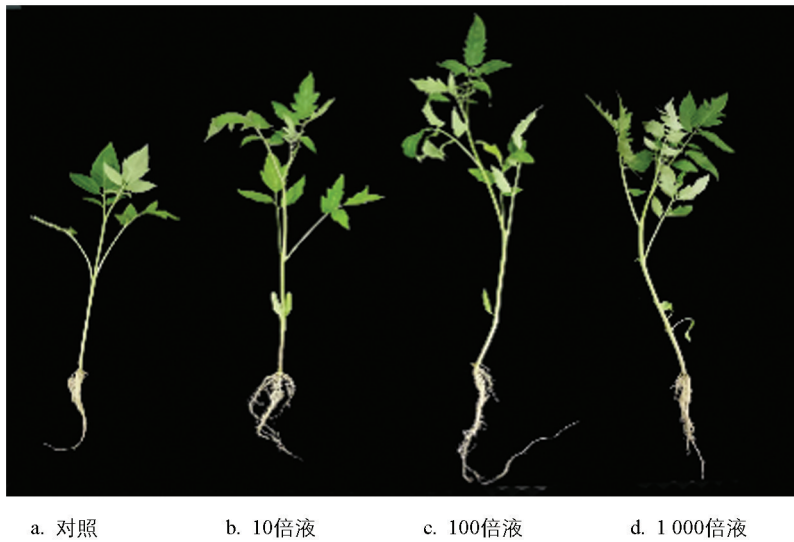


图 7 生防菌株 SC-6 对番茄幼苗促生作用效果



图 8 不同处理对番茄根腐病的防治效果

表 5 生防菌株 SC-6 对番茄根腐病的盆栽防治效果

处理	病情指数	发病率/%	相对防效/%
病原菌	93.33±0.00a	71.11±2.55a	—
SC-6+病原菌	62.22±3.85b	35.55±1.92b	50.02±1.19a
甲霜恶霉灵+病原菌	57.77±7.70b	32.22±1.92b	54.64±3.46a

3 讨论与结论

番茄根腐病是由多种病原真菌侵染引起的,目前已报道的番茄根腐病的病原菌主要有以尖孢镰刀孢(*F. oxysporum*)为主的镰孢菌^[3],还包括立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani*)^[17]、腐霉菌(*Pythium aphanidermatum*)^[18]、疫霉根腐菌(*Phytophthora sojae*)^[16]等。本研究从陕西省咸阳市番茄根腐病发生严重的地块采集典型病株,分离出 1 株病原菌,综合形态学和分子生物学鉴定首次确定该地区番茄根腐病的致病菌

为木贼镰孢菌(*F. equiseti*), 该菌种在西北干旱半干旱地区的致病性报道尚属空白。

白网链霉菌(*S. albireticuli*)虽目前研究较少, 仅有的报道也能充分说明其在生物防治方面的巨大潜力。白网链霉菌最早报道于 1955 年^[19], 其后张宁等^[20]通过对峙实验发现白网链霉菌(*S. albireticuli*) ZX-10-4 具有拮抗茄子黄萎病原菌(*Verticillium dahliae*)的生物活性, 10 倍发酵液的治疗效果为 43.76%。本研究筛选出 1 株白网链霉菌 SC-6, 对番茄根腐病盆栽防效达 50.02%, 与化学药剂相当且优于已有报道。Wang 等^[21]发现白网链霉菌 *S. albireticuli* MDJK11 具有促进植物生长的作用, 本研究发现白网链霉菌 SC-6 能显著促进番茄幼苗的生长, SC-6 发酵液 100 倍液处理后番茄幼苗的株高、根长、地上鲜质量和地下鲜质量分别增加了 60.41%、81.84%、176.19%和 42.22%。其促生效应可能与分泌吲哚乙酸(IAA)或嗜铁素等代谢物相关, 需要进一步探究。王艺茹等^[22]发现多粘类芽孢杆菌(*Paenibacillus polymyxa*) HP8-1 对番茄疫霉根腐病具有明显的防治效果(57.41%)。Wang 等^[21]混合培养白网链霉菌 MDJK11 和白黄链霉菌 MDJK44 相对于单独培养具有更好的抗镰刀菌效果。本研究 SC-6 的皿内抑菌率为 56.00%, 盆栽防效(50.02%)虽然显著, 但仍有较大提升空间, 未来可通过与芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)或其他链霉菌复配, 利用协同效应进一步增强田间防效。

参考文献:

- [1] PERVEEN R, SULERIA H A, ANJUM F M, et al. Tomato (*Solanum lycopersicum*) Carotenoids and Lycopenes Chemistry: Metabolism, Absorption, Nutrition, and allied Health Claims-A Comprehensive Review [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2015, 55(7): 919-929.
- [2] 郭成瑾, 杨波, 王喜刚, 等. 宁夏设施番茄和黄瓜主要土传病害生态治理技术集成与示范效果评价 [J]. 中国生物防治学报, 2024, 40(5): 1120-1127.
- [3] ZENE S A. 番茄根腐病生防菌的筛选及防治效果研究 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2021.
- [4] FATIMA S, ANJUM T. Identification of a Potential ISR Determinant from *Pseudomonas aeruginosa* PM₁₂ Against Fusarium Wilt in Tomato [J]. Frontiers in Plant Science, 2017(8): 848.
- [5] ZHANG J, CHEN J, JIA R M, et al. Suppression of Plant Wilt Diseases by Nonpathogenic *Fusarium oxysporum* Fo47 Combined with Actinomycete Strains [J]. Biocontrol Science and Technology, 2018, 28(6): 562-573.
- [6] EL-MOHAMEDY R, ABDEL-KAREEM F, JABNOUN-KHIAREDDINE H, et al. Chitosan and *Trichoderma harzianum* as Fungicide Alternatives for Controlling Fusarium Crown and Root Rot of Tomato [J]. Tunisian Journal of Plant Protection, 2014, 3(1): 369-374.
- [7] CHALLISG L, HOPWOOD D A. Synergy and Contingency as Driving Forces for the Evolution of Multiple Secondary Metabolite Production by *Streptomyces species* [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2003, 100(2): 14555-14561.
- [8] GOUDJAL Y, ZAMOUM M, SABAOU N, et al. Potential of Endophytic *Streptomyces* spp. for Biocontrol of Fusarium Root Rot Disease and Growth Promotion of Tomato Seedlings [J]. Biocontrol Science and Technology, 2016, 26(12): 1691-1705.
- [9] 宗兆锋, 康振生. 植物病理学原理 [M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [10] 王彤彤, 郭昊月, 赵尊练, 等. 陕西省大葱叶部镰刀菌枯萎病原菌的鉴定 [J]. 植物病理学报, 2022, 52(2): 281-285.

- [11] 马娅楠, 李继平, 郑果, 等. 草莓垫壳孢寄主范围测定及室内生物药剂筛选 [J]. 植物医学, 2023, 2(6): 28-35.
- [12] 寸海春, 何鹏搏, 何鹏飞, 等. 苹果根病拮抗细菌的筛选鉴定及生防作用 [J]. 中国南方果树, 2025, 54(2): 198-203.
- [13] 中国科学院微生物研究所放线菌分类组. 链霉菌鉴定手册 [M]. 北京: 科学出版社, 1972.
- [14] 陈婧. 棉花枯萎病生防放线菌的筛选、鉴定及其防治作用研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [15] 张敏慧, 范慧艳, 王霏璐, 等. 植物免疫诱抗剂“保康灵 1 号”对白术品质及根腐病抗病性的影响 [J]. 植物医学, 2024, 3(3): 34-42.
- [16] 谢学文, 赵显榕, 孙雪莹, 等. 番茄疫霉根腐病生防菌的分离鉴定及其防治效果 [J]. 植物病理学报, 2020, 50(5): 610-617.
- [17] 侯彩霞, 任娟, 赵思峰, 等. 2 株枯草芽孢杆菌防治加工番茄根腐病的效果和防治机理研究 [J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2012, 30(2): 152-156.
- [18] 迟晓丽, 刘珂欣, 许超, 等. 番茄土传病害拮抗菌的筛选、鉴定及拮抗性能评价 [J]. 中国农学通报, 2020, 36(3): 135-141.
- [19] NAKAZAWA K. Streptomycetes. II. *Streptomyces albireticuli* nov. sp. [J]. Nippon Nogei Kagaku Kaishi, 1955, 29: 647-649.
- [20] 张宁, 韩立荣, 孙平平, 等. 拮抗茄子黄萎病菌土壤放线菌的分离筛选和鉴定 [J]. 植物保护学报, 2012, 39(2): 109-114.
- [21] WANG C Q, WANG Y, MA J J, et al. Screening and Whole-Genome Sequencing of Two *Streptomyces* Species from the Rhizosphere Soil of Peony Reveal Their Characteristics as Plant Growth-Promoting Rhizobacteria [J]. BioMed Research International, 2018: 2419686.
- [22] 王艺茹, 潘培培, 沈虎生, 等. 番茄疫霉根腐病菌拮抗细菌 HP8-1 的鉴定及生物防治潜力 [J]. 河南农业大学学报, 2024, 58(1): 78-86.

责任编辑 周仁惠