

陆晓林,李 丹,戴 昕,等. 番茄尖孢镰刀菌致病特性及环境适应性[J]. 江苏农业科学,2023,51(6):100–106.  
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2023.06.015

# 番茄尖孢镰刀菌致病特性及环境适应性

陆晓林<sup>1</sup>, 李 丹<sup>2</sup>, 戴 昕<sup>3</sup>, 姚燕来<sup>1</sup>, 王卫平<sup>1</sup>, 朱为静<sup>1</sup>

(1. 浙江省农业科学院环境资源与土壤肥料研究所,浙江杭州 310021; 2. 杭州市农业技术推广中心,浙江杭州 310020;  
3. 浙江省生态环境监测中心,浙江杭州 310012)

**摘要:**为有效防治由尖孢镰刀菌引起的番茄枯萎病,对多份番茄枯萎病株及其根际土壤中的尖孢镰刀菌进行分离纯化,并对优势尖孢镰刀菌进行致病特性和环境适应性研究。采用分离纯化、形态学和分子生物学鉴定的方法确定了 3 株优势尖孢镰刀菌 6 号、8 号和 19 号,通过恒温培养和生长曲线测定方法进一步对其致病性和最适生长条件(pH 值和盐浓度)进行研究。此外,采用平板对峙和菌丝生长速率测定方法初步考察了 3 株尖孢镰刀菌对 2 株生防菌(解淀粉芽孢杆菌和贝莱斯芽孢杆菌)和 2 种药剂(精甲-咯菌腈和代森锰锌)的适应性。结果表明,在致病性试验中,6 号和 8 号菌株对番茄种子萌发的抑制作用和对番茄幼苗的致病性均显著高于 19 号菌株。平板对峙和菌丝生长测定结果表明,解淀粉芽孢杆菌和精甲-咯菌腈能显著抑制 3 株尖孢镰刀菌的生长,其中对 6 号和 8 号菌株的抑制效果更为明显。此外,最适生长条件试验结果表明,3 株尖孢镰刀菌在 pH 值=4 和 NaCl 浓度=2% 条件下生长速度最快。本研究分离鉴定了 2 株致病性较强的尖孢镰刀菌,在农业生产上可通过改良土壤酸化及施用解淀粉芽孢杆菌菌剂等措施来防治其引发的番茄枯萎病。

**关键词:**番茄;尖孢镰刀菌;致病特性;环境适应性;分离纯化

**中图分类号:**S436.412 **文献标志码:**A **文章编号:**1002–1302(2023)06–0100–07

番茄营养价值高,是浙江省主要的蔬菜作物<sup>[1]</sup>。据统计,2017 年浙江省设施番茄栽培面积超 1 万 hm<sup>2</sup>,产值超亿元<sup>[2]</sup>。特别是浙江省温州市苍南县凭借独特的物候优势,已成为重要的番茄生产和供应基地之一<sup>[3]</sup>。因此,番茄产业极大地增长了当地农村经济和农民收入。但新形势下,一些设施番茄大棚基地由于常年连作和不合理施肥等原因,造成番茄连作障碍现象普遍发生<sup>[2]</sup>。

番茄枯萎病作为番茄重要的土传病害,最早于 20 世纪初被发现<sup>[4]</sup>,目前在浙江省番茄优势产区频发<sup>[2]</sup>,其在番茄植株上表现出植株萎蔫、叶片变黄、维管束褐变等系统症状,造成番茄严重减产<sup>[5]</sup>。已

有研究表明,尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)是番茄枯萎病主要致病菌之一<sup>[5–6]</sup>。此外,由于土壤中尖孢镰刀菌的致病力、浓度和生长速度关系到病害的发生和严重程度<sup>[7–9]</sup>。因此明确不同尖孢镰刀菌的致病力差异及其在土壤中繁殖的最适环境因素,通过创造相应的环境条件,有助于控制枯萎病的发生或蔓延<sup>[10–11]</sup>。但是,通过传统手段如稀释涂布计数或菌丝生长测定来研究枯萎病病菌生长的最适条件存在数据通量小和试验周期长等弊端<sup>[11–13]</sup>。已有研究表明,Bioscreen C 全自动生长曲线分析仪可连续监测微生物的生长速率并快速筛选出微生物菌株生长的最优条件<sup>[14]</sup>。当前对不同尖孢镰刀菌生长速度的实时监测及其最适生长条件的快速筛选相关研究鲜有报道。本研究从番茄枯萎病病株及其根际土壤上分离鉴定了 3 株代表性尖孢镰刀菌,并对 3 株菌的致病特性和环境适应性进行相关研究,旨在为番茄枯萎病的科学防控提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

发病植株及其根际土壤于 2021 年 3—5 月采集自浙江省温州市苍南县不同地区连作多年的设施

收稿日期:2022–04–09

基金项目:浙江省自然科学基金探索项目(编号:LQ21D010002);浙江省重点研发计划(编号:2020C02030);国家现代农业产业技术体系资助项目(编号:CARS–23–B12);杭州市农业与社会发展科研项目(编号:2020ZDSJ0130);浙江省农业重大技术协同推广计划(编号:2020XTGCS01–5)

作者简介:陆晓林(1994—),男,浙江桐乡人,硕士,主要从事真菌资源分类与生物防治研究。E-mail:l651845840@126.com。

通信作者:朱为静,博士,助理研究员,主要从事土传病害生物防治研究。E-mail:zhuweijing@zaas.ac.cn。

番茄大棚内。供试广谱性生防细菌菌株分别为贝莱斯芽孢杆菌 (*Bacillus velezensis* K1, K1) 和解淀粉芽孢杆菌 (*Bacillus amyloliquefaciens* JDF, JDF), 由浙江省农业科学院环境资源与土壤肥料研究所研究人员从蔬菜作物土壤根际分离得到。用于尖孢镰刀菌分离培养及纯化的培养基分别为尖孢镰刀菌选择性培养基<sup>[11]</sup> (去皮马铃薯 200 g/L, 琼脂粉 20 g/L, 无水乙醇 16.2 mL/L, 45% 敌磺酸钠 2.1 g/L, 硫酸链霉素 0.75 g/L) 和马铃薯葡萄糖琼脂培养基 (potato dextrose agar, PDA: 马铃薯浸出粉 6 g/L, 葡萄糖 20 g/L, 琼脂粉 20 g/L, 自然 pH 值)。用于生防细菌活化的培养基为 lysogeny broth (LB) 培养基 (胰蛋白胨 10 g/L, 酵母提取物 5 g/L, 氯化钠 10 g/L, 琼脂粉 20 g/L, 自然 pH 值)。供试 0.05% HYPONEX 植物营养液从网上 (<http://www.hyponex.co.jp>) 购买并按照说明书的方法配制。供试药剂: 62.5 g/L 精甲 - 咯菌腈悬浮种衣剂, 购自青岛奥迪斯生物科技有限公司; 65% 代森锰锌可湿性粉剂, 购自江西中迅农化有限公司。供试番茄品种为合作 903。整个试验过程 (2021 年 6—12 月) 在浙江省农业科学院环境资源与土壤肥料研究所微生物实验室进行。

## 1.2 尖孢镰刀菌的分离及鉴定

分别采用组织分离法和梯度稀释法<sup>[11,15]</sup> 对发病植株及其根际土壤进行尖孢镰刀菌的分离。对分离得到的菌落采用尖端菌丝挑取法纯化<sup>[16]</sup>: 从菌落边缘挑取适量菌丝转移到 PDA 培养基上, 相同条件下纯化培养, 反复培养 3~5 代直到分离出形态一致的菌株。经分离纯化, 共获得 20 多株不同形态的尖孢镰刀菌单菌落, 委托生工生物工程 (上海) 股份有限公司提取待测真菌的 DNA, 再利用通用引物 ITS1 (TCCGTAGGTGAACCTGCGG) 和 ITS4 (TCCTCCGCTTATTGATATGC) 对所提 DNA 的转录间隔区 (internal transcribed spacer, ITS) 进行扩增<sup>[17]</sup>。用 1% 琼脂糖电泳检测 PCR 产物的大小和特异性, 随后通过序列测定和同源性比较来鉴定未知真菌。最终, 选取 3 株丰度较高的尖孢镰刀菌作为代表性菌株, 分别命名为 6 号、8 号和 19 号。此外, 在 GenBank 上下载 3 株分离菌株的 rDNA - ITS 序列用于系统发育树的构建<sup>[5]</sup>。

## 1.3 尖孢镰刀菌对番茄种子萌发及幼苗生长的影响

将 3 株优势尖孢镰刀菌接种到 PDB 培养基, 并

于 28 ℃ 和 160 r/min 下振荡培养 2 d。培养结束后, 分别制成  $10^6$ 、 $10^5$ 、 $10^4$  个/mL 的孢子悬浮液, 待用。各取 10 mL 孢子悬液 ( $10^5$ 、 $10^4$  个/mL) 接入铺有 1 层滤纸的培养皿中, 并在培养皿中央散播饱满一致的 10 颗番茄种子, 置于孵育箱 (26 ℃、70% 相对湿度) 暗培养 4 d。培养结束后测定不同浓度尖孢镰刀菌孢子悬浮液对番茄种子萌发的影响<sup>[18]</sup>。设对照接种等量的灭菌 PDB 培养基的稀释液, 所有处理均重复 3 次。

采用水培法测定 3 株尖孢镰刀菌对番茄幼苗生长的影响<sup>[19]</sup>。各取 5 mL 孢子悬浮液 ( $10^5$  个/mL) 接入到含有 10 mL 营养液的离心管中。随后, 一个离心管移栽 1 颗番茄苗, 并在 24~30 ℃ 的温室下培养<sup>[20]</sup>。每个处理包括 8 株番茄苗, 3 次重复, 对照接种等量的 PDB 培养基稀释液。待发病后选取发病组织进行病原菌的再次分离鉴定。枯萎病病害采用 0~4 级的 5 级分级标准, 其中 0 级, 植株健康, 无叶片发黄; 1 级, 植株无萎蔫症状, 叶片发黄占比小于 50%; 2 级, 植株无萎蔫症状, 叶片发黄占比大于 50%; 3 级, 植株叶片萎蔫, 茎基部出现病斑; 4 级, 植株枯死。病情指数 (disease index, DI)<sup>[21]</sup> 采用如下公式进行计算:

病情指数 =  $\Sigma$  (各级发病株数 × 该级代表值) × 100 / (调查总株数 × 病情最高级代表值)。

## 1.4 生防菌和药剂对尖孢镰刀菌的拮抗作用

采用平板对峙法测定生防菌对尖孢镰刀菌菌丝生长的影响<sup>[22-23]</sup>, 用灭菌打孔器 (直径为 5 mm) 取活化好的尖孢镰刀菌菌饼, 倒扣在新鲜 PDA 培养基的一侧, 然后在距离病原菌 4 cm 的位置再接种近似大小的生防菌单菌落。设不接种生防菌为对照, 每处理重复 3 次。培养 7 d 后, 测定各处理组尖孢镰刀菌菌落平均半径  $d$ , 对照组尖孢镰刀菌平均半径为  $D$ , 并计算抑制率。

利用菌丝生长速率法<sup>[24]</sup>, 考察精甲 - 咯菌腈和代森锰锌对尖孢镰刀菌的生长抑制作用。在预试验的基础上制成  $N$  ( $N \geq 6$ ) 个系列浓度的精甲 - 咯菌腈和代森锰锌溶液, 加入到 PDA 培养基混匀, 以无菌水代替药剂作为空白对照。每个处理重复 4 次。将尖孢镰刀菌菌饼转接到上述含药 PDA 培养基和空白对照中, (28 ± 2) ℃ 培养 7 d, 用十字交叉法测量菌落直径, 并计算菌丝生长平均抑制率及药剂对供试病原菌菌丝生长抑制的回归方程、相关系数 ( $r$ ) 和抑制有效中浓度 ( $EC_{50}$ )<sup>[13]</sup>。菌丝生长平均

抑制率 = (对照菌落直径均值 - 处理菌落直径均值) / (对照菌落直径均值 - 接种菌饼直径) × 100%。

1.5 尖孢镰刀菌最适生长条件测定

配制 50 mL pH 值分别为 4、5、6、7 和 8 以及 NaCl 浓度分别为 0.5%、1%、2% 和 4% 的 PDB 培养基。将不同 pH 值和 NaCl 浓度的 PDB 培养液在 121 ℃ 下灭菌 20 min，待冷却至室温后接种 1% “1.3” 节所制备的孢子悬浮液 (10<sup>5</sup> 个/mL)，混匀待测。各吸取 0.2 mL 培养液添加到加样孔内，每组设置 5 个平行，将样品板放入 Bioscreen C (FP-1100-c, 芬兰) 培养箱内，中速转速和 30 ℃ 条件下<sup>[14]</sup> 培养 72 h，根据菌株的生长曲线确定最适生长 pH 值和 NaCl 浓度。

1.6 数据处理与统计分析

使用 Excel 2010、IBM SPSS 26.0 和 OriginPro 2021 软件进行数据处理、方差分析并作图。不同数据组间差异显著性分析采用 Duncan’s 新复极差法和 Student’s *t* 检验法进行多重比较 (α = 0.05)，所有

数据均用平均值 ± 标准偏差表示。

2 结果与分析

2.1 尖孢镰刀菌的分离鉴定

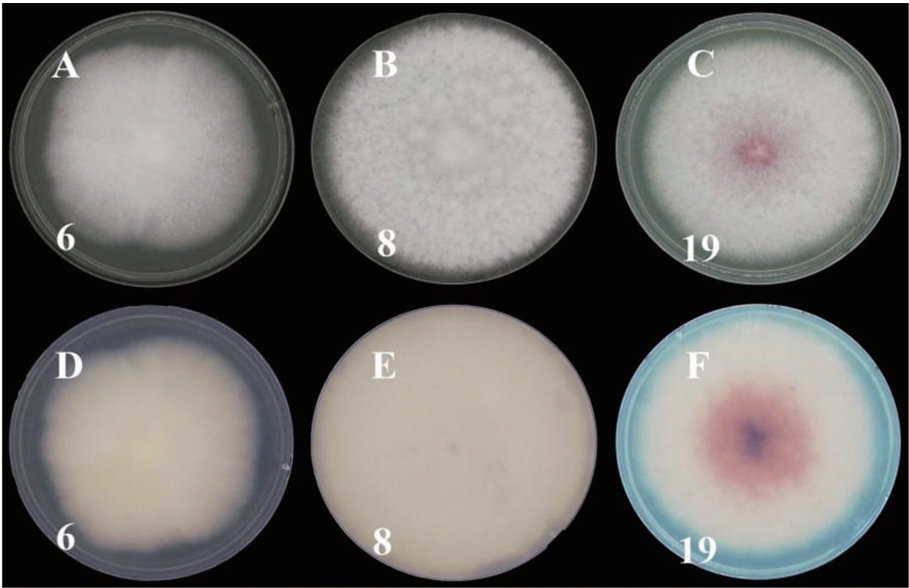
从发病番茄及其根际土壤中分离鉴定出 3 株占比较高的优势尖孢镰刀菌菌株 6 号、8 号和 19 号 (表 1 和图 1)。此外，将这 3 株尖孢镰刀菌 ITS 序列在 NCBI 上进行 BLAST 比对，并下载与病原菌 ITS 序列同源性最为接近的 4 条序列，进一步结合 MEGA7.0 分子软件，采用邻接法构建系统发育树 (图 2)。发育树显示菌株 6 号、8 号和 19 号的序列均与尖孢镰刀菌的相似度高达 100%，且菌株 6 号和 8 号在自举值为 100% 水平上聚在同一个进化分支上。

2.2 尖孢镰刀菌致病力测定

3 株尖孢镰刀菌在不同浓度下对番茄种子萌发的影响如图 3 - A 所示。10<sup>4</sup> 孢子悬浮液处理条件下，6 号和 8 号菌株对种子萌发产生了显著 (*P* < 0.05)

表 1 优势镰刀菌分离株的菌落形态特征

样品	菌株	数量 (个)	分离占比 (%)	BLAST 比对结果	GenBank 登录号	培养 7 d 后的菌落形态特征
样品 1	6 号	24	61.54	<i>Fusarium oxysporum</i> isolate GJ41761	MN068929	菌落平铺，正反面均呈白色薄膜状
样品 2	8 号	12	92.31	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. nelumbicola	DQ002550	正面菌落呈白色棉絮状，背面中心区域苍白色
样品 3	19 号	38	94.85	<i>Fusarium oxysporum</i> isolate Bd017	MW760739	菌落呈棉絮状，粉色，气生菌丝浓密，反面可见深红色分泌物



A~C—PDA 培养基上菌落正面形态；D~F—PDA 培养基上菌落背面形态

图1 尖孢镰刀菌的形态特征

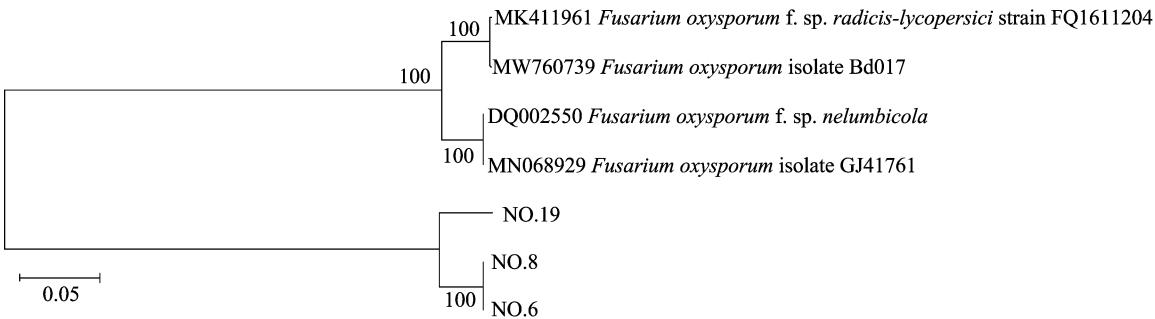
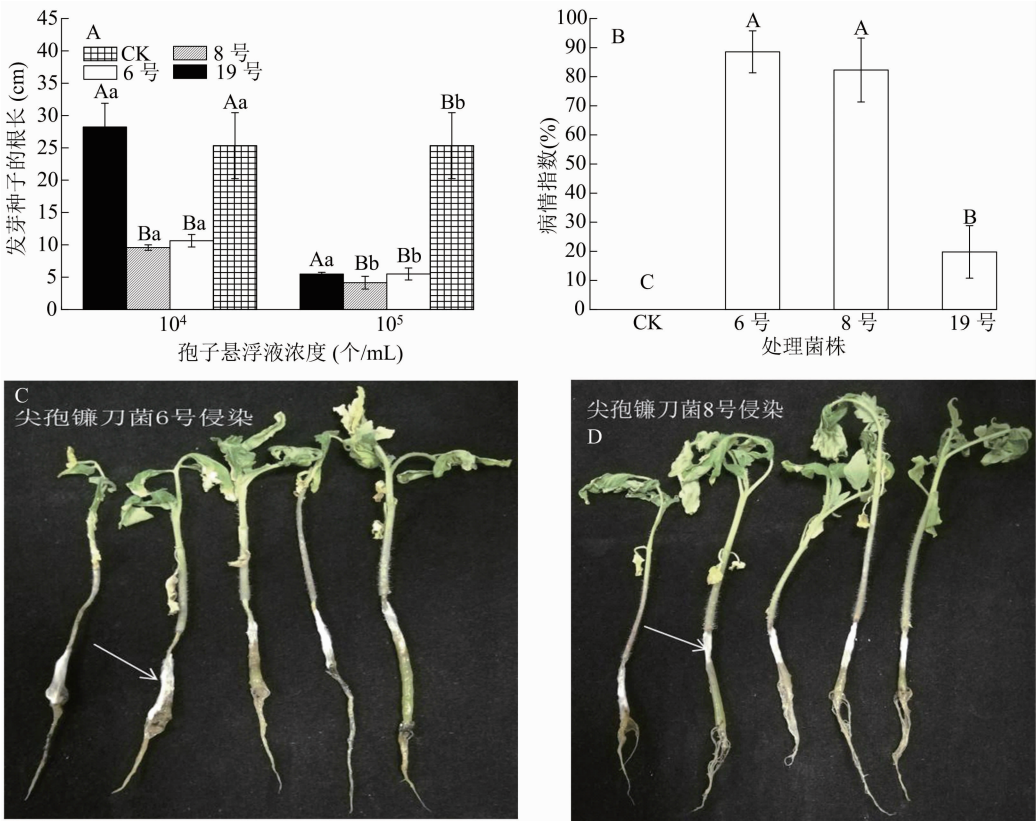


图2 基于 ITS 序列分析构建 Neighbour-Joining 系统树

抑制,而 19 号株对萌发种子根长的影响与对照相比,无显著差异。 $10^5$  孢子悬液条件下,3 株尖孢镰刀菌均对萌发种子的根长有显著 ( $P < 0.05$ ) 抑制作用。

3 株尖孢镰刀菌对番茄幼苗的致病特性结果如

图 3 - B 所示。6 号和 8 号菌株孢子悬浮液培养 10 d 后,番茄幼苗表现出明显的发病症状(图 3 - C 和图 3 - D),病情指数均在 80% 以上,显著高于在 19 号菌株孢子悬浮液培养下的病情指数(19.79%) ( $P < 0.001$ )。



A—尖孢镰刀菌对番茄发芽种子根长的影响; B—不同尖孢镰刀菌对番茄幼苗病情指数的影响; C~D—发病幼苗。不同小写字母表示在接种同一菌株不同浓度处理之间差异显著( $P < 0.05$ ); 不同大写字母表示在接种同一浓度不同菌株处理之间差异显著( $P < 0.05$ )

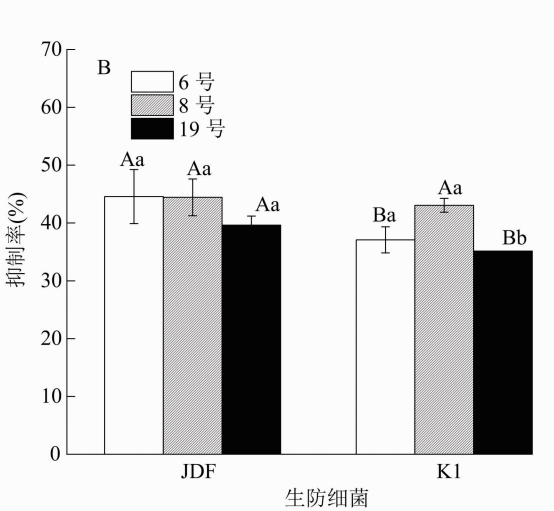
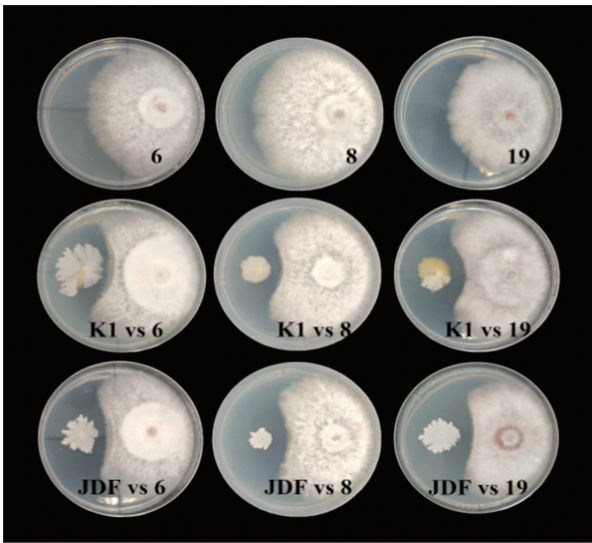
图3 尖孢镰刀菌对番茄的致病特性

### 2.3 生防菌和抑菌药剂对尖孢镰刀菌的拮抗效果研究

生防菌 K1 和 JDF 与尖孢镰刀菌的对峙培养试验结果表明,2 株生防菌对 3 株尖孢镰刀菌的生长均有一定的抑制作用(图 4 - A)。其中,生防菌 JDF

对 3 株尖孢镰刀菌的生长抑制率均在 39% 以上,且三者间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。而生防菌 K1 对 8 号菌株的抑制率显著优于 6 号和 19 号菌株 ( $P < 0.01$ ),但总体上对三者的抑制率仍达到 35% 以上。由表 2 可知,精甲 - 咯菌腈和代森锰锌对 3 株





A—对峙培养；B—抑制率。不同小写字母表示同一病原菌在不同生防细菌处理之间差异显著( $P<0.05$ )；不同大写字母表示不同病原菌在同一生防细菌处理之间差异显著( $P<0.05$ )；K1，贝莱斯芽孢杆菌；JDF，解淀粉芽孢杆菌

图4 生防细菌对尖孢镰刀菌的拮抗作用

表 2 药剂对尖孢镰刀菌的毒力

菌株	药剂	毒力回归方程	相关系数	抑制有效中浓度 EC <sub>50</sub> (mg/L)
6	精甲 - 咯菌腈	$y = 0.163\ 4x + 0.608\ 6$	0.997\ 1	0.216\ 5
	代森锰锌	$y = 0.097\ 7x + 0.335\ 0$	0.993\ 6	48.847\ 6
8	精甲 - 咯菌腈	$y = 0.168\ 9x + 0.459\ 9$	0.986\ 2	1.727\ 5
	代森锰锌	$y = 0.132\ 6x + 0.277\ 0$	0.956\ 6	48.056\ 2
19	精甲 - 咯菌腈	$y = 0.120\ 8x + 0.391\ 0$	0.991\ 2	7.985\ 8
	代森锰锌	$y = 0.081\ 4x + 0.266\ 3$	0.990\ 9	743.031\ 7

尖孢镰刀菌均有一定的抑制作用。其中,精甲 - 咯菌腈对 3 株尖孢镰刀菌的毒力作用优于代森锰锌,且 2 种药剂对 6 号和 8 号菌株的抑制作用高于 19 号菌株。

2.4 pH 值和盐浓度对尖孢镰刀菌生长的影响

生长曲线结果表明(图 5),3 株尖孢镰刀菌在 pH 值 = 4 和 NaCl 浓度 = 2% 条件下,生长速度最快。其中,19 号菌株对 pH 值和盐浓度的适应性更好,在 pH 值为 4 ~ 8 及 NaCl 浓度 0.5% ~ 4% 范围内均能快速生长。而 6 号和 8 号菌株在酸性(pH 值为 4 ~ 5)和高盐(NaCl 浓度 2% ~ 4%)环境下,生长速率更高。

3 讨论与结论

了解番茄枯萎病病菌的种类和环境适应性是开展有效防治的前提和基础。本研究从番茄枯萎病株及其根际土壤分离得到 3 株丰度优势尖孢镰刀

菌 6 号、8 号和 19 号。前人研究发现,尖孢镰刀菌为引发蔬菜作物枯萎病的主要病原菌之一<sup>[5,20,25]</sup>。此外,尖孢镰刀菌存在多个生理小种<sup>[7-8]</sup>,且这些菌株的致病力存在差异<sup>[10,25]</sup>。在本研究中,相比于 19 号菌株,6 号和 8 号菌株对番茄种子和幼苗具有更高的抑制性或致病力。笔者推测,19 号菌株可能是弱致病力尖孢镰刀菌,由于缺失了谱系特异性区域而对宿主植物具有非致病性<sup>[7,9]</sup>。而关于 6 号和 8 号菌株如何侵染宿主致其发病的相关机理还有待于进一步研究。

多黏类芽孢杆菌(*Bacillus* spp.)是广泛存在于自然界的重要的生物防治微生物资源,其生防机制主要有生态位竞争、抑菌物质产生、重寄生作用与改善植物生长等<sup>[26-27]</sup>。多效拮抗菌贝莱斯芽孢杆菌和解淀粉芽孢杆菌在作物绿色防控上的作用更是已被前人所证实<sup>[4,28]</sup>。本试验表明,2 种生防菌对 3 株尖孢镰刀菌均有一定的抑制作用,尤其是解

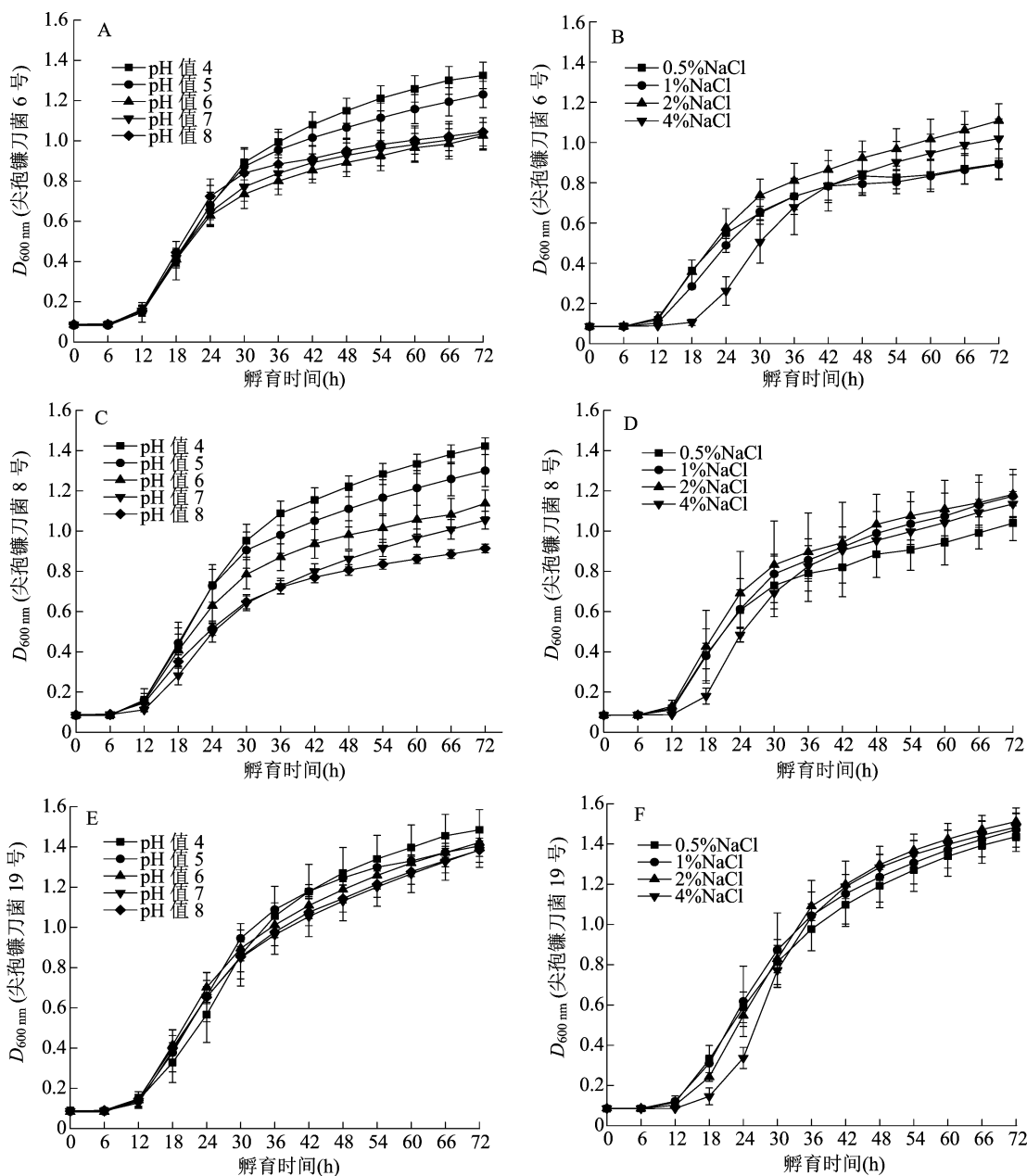


图5 pH 值和盐浓度对尖孢镰刀菌生长的影响

淀粉芽孢杆菌对 3 株尖孢镰刀菌的抑制率较高,达到 39.64% ~ 44.57%,因而解淀粉芽孢杆菌用于防控本研究中尖孢镰刀菌引起的枯萎病会更有潜力。而枯萎病害的发生往往是由多种尖孢镰刀菌复合侵染作物引起,因此在摸清致病菌株致病特性基础上开展专用生防菌的筛选显得尤为重要。此外,精甲-咯菌腈和代森锰锌等杀菌剂已广泛用于经济作物真菌病害的防治中<sup>[3,13]</sup>。谢昀焯等研究表明,代森锰锌在田间防效上效果远高于精甲-咯菌腈,病原菌菌株差异性可能是其与本研究结果不一致的主要原因<sup>[3]</sup>。

本研究在室内条件下探索了 3 株尖孢镰刀菌的最适生长条件,明确了 3 株菌在 pH 值 = 4 和 NaCl 浓度 = 2% 条件下生长速度最快,这一结论与前人的研究结果<sup>[11,29]</sup>相似。由于氮素化肥的大量使用,我国设施大棚土壤酸化问题十分突出,而酸化的土壤环境更加有利于尖孢镰刀菌等土传病原真菌的生长和繁殖<sup>[11]</sup>。在中性或碱性条件下,致病力较强的 6 号和 8 号菌株的生长速率均受到了一定程度的抑制。因此,在不影响作物生长的前提下,提升酸化土壤 pH 值,或许可在一定程度上控制枯萎病的发生或蔓延。此外,研究发现,较高的盐浓度可显著

促进 6 号和 8 号致病菌株的生长,这一现象与尖孢镰刀菌为耐盐真菌的结论<sup>[30]</sup>一致。

综上所述,本研究对设施番茄大棚内优势尖孢镰刀菌的致病特性和环境适应性进行了考察,研究结果为掌握番茄枯萎病的发病规律及开发相应的防治手段提供了数据基础和参考。

#### 参考文献:

- [1]朱碧云,赵战马,赵俊婕. 浙江省番茄产业发展现状与问题分析[J]. 长江蔬菜,2017(20):99-102.
- [2]杨新琴,杜叶红,林辉,等. 浙江省番茄产业可持续发展对策的探讨[J]. 浙江农业科学,2018,59(10):1739-1742.
- [3]谢灼烨,林辉,方丽,等. 苍南冬春季番茄病害发生情况的调查[J]. 浙江农业科学,2018,59(10):1876-1878.
- [4]王永强. 解淀粉芽孢杆菌 SDTB009 的分离鉴定及其对番茄枯萎病的防治研究[D]. 泰安:山东农业大学,2020:1-2.
- [5]杨莹莹,刘波,肖荣凤,等. 番茄、茄子和辣椒枯萎病原菌分子鉴定及其致病性测定[J]. 热带作物学报,2012,33(5):906-912.
- [6]褚新培,吕桂云,鹿秀云,等. 番茄枯萎病菌分离鉴定及嫁接砧木抗病性评价[J]. 中国蔬菜,2020(6):64-68.
- [7]高晓敏,王琚钢,马立国,等. 尖孢镰刀菌致病机理和化感作用研究进展[J]. 微生物学通报,2014,41(10):2143-2148.
- [8]董超,方香玲. 植物病原真菌尖孢镰刀菌检测与定量研究进展[J]. 草地学报,2021,29(7):1599-1604.
- [9]张海峰,肖荣凤,陈燕萍,等. 非致病性尖孢镰刀菌生防菌剂对番茄植株的促生效果[J]. 福建农业科技,2018(11):22-25.
- [10]彭双,王一明,叶旭红,等. 土壤环境因素对致病性尖孢镰刀菌生长的影响[J]. 土壤,2014,46(5):845-850.
- [11]姚燕来,黄飞龙,薛智勇,等. 土壤环境因子对土壤中黄瓜枯萎病致病菌增殖的影响[J]. 中国土壤与肥料,2015(1):106-110.
- [12]蔡悦,王储炎,黄明华,等. 合欢枯萎病菌的分离鉴定和培养特性[J]. 浙江农业学报,2019,31(4):588-599.
- [13]李润根,程华,张鹏,等. 百合枯萎病菌 *Fusarium proliferatum* 的鉴定、生物学特性及抑菌药剂筛选[J]. 基因组学与应用生物学,2018,37(9):3844-3851.
- [14]杨瑞冬,李伯海,王元弛,等. *Lactobacillus buchneri* IMAU80233 高密度发酵工艺优化[J]. 食品科学,2019,40(22):147-154.
- [15]陈立华,常义军,王长春,等. 发生和未发生连作芦蒿枯萎病土壤的尖孢镰刀菌数量、产毒能力和致病力[J]. 应用与环境生物学报,2015,21(2):228-233.
- [16]宋微,王磊,张虎,等. 山木通叶斑病原菌分离、鉴定与拮抗细菌的筛选[J]. 江苏农业科学,2015,43(12):172-174.
- [17]吴玉鹏,赵晓梅. 不同产地库尔勒香梨萼端黑斑病原菌的分离鉴定[J]. 新疆农业科学,2018,55(1):116-122.
- [18]耿广东,程智慧,张素勤. 不同浓度的辣椒化感物质对莴苣化感效应研究[J]. 华北农学报,2008,23(2):30-33.
- [19]李雨龙,杨叶,韦诚,等. 海南飞机草病原真菌鉴定、致病力测定及其寄主范围分析[J]. 热带作物学报,2016,37(1):177-182.
- [20]王先挺,曾立红,王斌,等. 大棚甜瓜枯萎病原菌鉴定及其生物学特性[J]. 贵州农业科学,2020,48(7):42-46.
- [21]蔡文涌,王肖肖,方香玲. 不同尖孢镰刀菌菌株对紫花苜蓿幼苗生长的影响[J]. 草地学报,2020,28(5):1233-1239.
- [22]王丽萍,陈涛,方石桂,等. 广西剑麻黑斑病原菌鉴定及其生防菌筛选[J]. 南方农业学报,2021,52(7):1912-1922.
- [23]Jain S, Vaishnav A, Kumari S, et al. Chitinolytic *Bacillus* - mediated induction of jasmonic acid and defense - related proteins in soybean (*Glycine max* L. Merrill) plant against *Rhizoctonia solani* and *Fusarium oxysporum* [J]. Journal of Plant Growth Regulation,2017,36(1):200-214.
- [24]王国荣,冯晓晓,吴慧明,等. 芹菜茎基腐病原菌鉴定、消长动态调查与防治药剂筛选[J]. 浙江农业学报,2021,33(4):661-669.
- [25]纪莉景,王连生,栗秋生,等. 西瓜枯萎病菌分离及致病力测定[J]. 河北农业科学,2010,14(8):137-138,149.
- [26]张贺,杨石有,汪熊梦琦,等. 生防菌对芒果主要病害病原菌室内抑菌试验[J]. 中国森林病虫,2018,37(6):16-19.
- [27]王娜,王彪,蔡灏漾,等. 1 株桑叶内生防多黏类芽孢杆菌可湿性粉剂的制备及应用效果[J]. 江苏农业科学,2021,49(23):115-124.
- [28]夏明聪,邓晓旭,齐红志,等. 贝莱斯芽孢杆菌 YB-145 对小麦纹枯病的防治效果及促生作用[J]. 河南农业科学,2021,50(10):76-83.
- [29]文增叶,李定华,代梦瑶,等. 三七根腐病原菌尖孢镰刀菌的生物学特性分析[J]. 中药材,2019,42(9):1978-1984.
- [30]吴曰福,顾爱星,王洪凯. 碱蓬根系嗜盐耐盐真菌的分离与鉴定[J]. 浙江农业学报,2018,30(4):649-655.