

研究报告

番茄早疫病病原鉴定、生物学特性及防治药剂减药配比筛选

王佼¹, 韩文清¹, 苏秀敏^{1*}, 王秋兰¹, 李鹏²

1 山西农业大学 谷子研究所, 山西 长治 046000

2 长治市潞州区农业农村局, 山西 长治 046000

王佼, 韩文清, 苏秀敏, 王秋兰, 李鹏. 番茄早疫病病原鉴定、生物学特性及防治药剂减药配比筛选[J]. 微生物学通报, 2026, 53(1): 313-327.

WANG Jiao, HAN Wenqing, SU Xiumin, WANG Qiulan, LI Peng. Identification and biological characterization of the pathogen causing tomato early blight and screening of dosage reduction proportions of the fungicide[J]. Microbiology China, 2026, 53(1): 313-327.

摘要:【背景】旱地番茄是山西省长治市壶关县的特色产业之一。近年来由于降雨量增加导致番茄早疫病频发。【目的】明确试验田番茄早疫病致病菌, 并对其生物学特性进行分析。引入助剂激健, 结合室内抑菌试验和田间试验筛选既减少苯甲·嘧菌酯用量又保证药效的最适减药配比。【方法】采用形态学观察及分子生物学方法对分离纯化的病原菌 W1 进行鉴定, 对其最适碳源、温度、光照及 pH 值等生物学指标进行研究。引入有机助剂激健, 采用平板对峙方法进行室内减药抑菌活性试验, 同时结合田间小区试验评价其防治效果。【结果】菌株 W1 经形态学特征及分子生物学方法鉴定为极细链格孢(*Alternaria tenuissima*), 该菌株营养生长的最适碳源为果糖, 最适生长温度为 28 °C, 最适 pH 值为 7.0, 在全黑暗条件下菌丝生长速度最快。室内抑菌活性研究表明, 苯甲·嘧菌酯配施激健的减药处理均对番茄早疫病菌有抑制作用, 减药 10%+激健的处理优于常规用药处理, 抑制率为 93.90%。田间第 1 次药后 7 d 减药 10%+激健的处理和减药 20%+激健的处理防治效果分别为 77.54%和 72.94%, 田间第 2 次药后 7 d 减药 10%+激健的处理和减药 20%+激健的处理防治效果分别为 83.40%和 80.32%, 均显著优于常规施药的防治效果。【结论】极细链格孢为本试验田番茄早疫病致病菌。添加助剂激健可实现减少苯甲·嘧菌酯使用量且防治番茄早疫病的目的, 其中苯甲·嘧菌酯使用量减少 20%+激健的处理为最适用药配比。

关键词: 番茄早疫病; 助剂激健; 生物学特性; 减药; 防治效果

资助项目: 山西省基础研究计划(202203021212447, 202303021222057); 山西农业大学谷子研究所科研项目(GZS202301)
This work was supported by the Basic Research Program of Shanxi Province (202203021212447, 202303021222057), and the Shanxi Agricultural University Millet Research Institute Research Program (GZS202301).

*Corresponding author. E-mail: suxiumin123@163.com

Received: 2025-05-13; Accepted: 2025-06-25; Published online: 2025-07-10

Identification and biological characterization of the pathogen causing tomato early blight and screening of dosage reduction proportions of the fungicide

WANG Jiao¹, HAN Wenqing¹, SU Xiumin^{1*}, WANG Qiulan¹, LI Peng²

1 Millet Research Institute of Shanxi Agricultural University, Changzhi 046000, Shanxi, China

2 Bureau of Agriculture and Rural Affairs of Luzhou District, Changzhi 046000, Shanxi, China

Abstract: [Background] Dryland tomato is one of the characteristic industries in Huguan County, Changzhi City, Shanxi Province. In recent years, increased rainfall has led to frequent outbreaks of tomato early blight. [Objective] To identify the pathogenic fungi causing tomato early blight in the experimental field and analyze their biological characteristics, we introduced the adjuvant Jijian and screened the optimal dosage reduction proportion that minimize the usage of difenoconazole+azoxystrobin SC while maintaining the efficacy through indoor antifungal tests and field trials. [Methods] Morphological observation and molecular biological methods were employed to identify the isolated pathogen strain W1. The biological indicators including optimal carbon source, temperature, light conditions, and pH value of this strain were studied. The organic adjuvant Jijian was introduced, and indoor antifungal tests were conducted via the plate confrontation method to optimize the dosage reduction proportion of the fungicide. Furthermore, field trials were carried out to evaluate the control efficacy. [Results] Strain W1 was identified as *Alternaria tenuissima*. The optimal carbon source, temperature, and pH for the vegetative growth of this strain was fructose, 28 °C, and 7.0, respectively, and the mycelial growth was fastest under complete darkness conditions. Indoor antifungal tests showed that all dosage reduction treatments of difenoconazole+azoxystrobin SC combined with Jijian had inhibitory effects on the fungus causing tomato early blight. The 10% reduction+Jijian treatment was superior to conventional dosage treatment, with an inhibition rate of 93.90%. In field trials, the control efficacy of the 10% reduction+Jijian and 20% reduction+Jijian treatments was 77.54% and 72.94%, respectively, 7 days after the first application and 83.40% and 80.32%, respectively, 7 days after the second application, surpassing that of the conventional application. [Conclusion] *A. tenuissima* is the pathogenic fungus causing tomato early blight in this experimental field. Adding the adjuvant Jijian can reduce the usage of difenoconazole+azoxystrobin SC while maintaining the control efficacy against tomato early blight, with 20% reduction in difenoconazole+azoxystrobin SC+Jijian being the most suitable treatment.

Keywords: tomato early blight; adjuvant Jijian; biological characteristics; dosage reduction; control efficacy

番茄早疫病是番茄主要病害之一，由链格孢属(*Alternaria*)真菌引起，在全世界普遍发生^[1]。目前国内已报道的侵染番茄的链格孢属

真菌主要有茄链格孢(*Alternaria solani*)、茄斑链格孢(*Alternaria melongenae*)和链格孢(*Alternaria alternata*)^[2]。番茄早疫病可危害植株茎、叶及

果实, 典型症状表现为暗褐色同心轮纹状突起。该病主要发生于高温高湿季节, 潜伏期较短, 一般为 2–3 d, 发病时迅猛, 严重时可导致减产 30%–40%, 影响农户经济效益^[3–4]。

目前番茄早疫病主要以化学农药防治为主^[5]。化学防治具有对病原物高效、速效、操作方便、适应性广等特点, 可快速有效地防止病害发生。然而喷施过程中出现的农药残留、流失及蒸发等现象对整个生态造成的污染愈发严重^[6]。随着化学农药用量的增加还会引起病原菌抗药性增强、食品安全等问题^[7–10]。如何在减施化学农药的同时防止病害发生, 降低环境污染, 保证舌尖上的安全是生产上亟待解决的关键问题。

添加喷雾助剂是目前较有效的既能减少化学农药使用量又能保证防治效果的措施之一^[11–18]。有机助剂激健是目前生产中较为成熟的一种喷雾助剂, 在与农药协同作用时可大幅增加农药的渗透力和传导率, 其安全性好^[19–20]。研究发现在除草剂及杀虫剂减少农药用量 20%–50% 时使用助剂激健的防治效果与常规药剂处理相当^[21–23]。田志慧等^[21]研究发现, 使用 100 g/L 氰氟草酯乳油防除稻田杂草稗、千金子时, 添加助剂激健可降低其使用量 30%, 使用 480 g/L 灭草松水剂防除多花水苋、丁香蓼和异性莎草等杂草时, 添加助剂激健可降低其使用量至少 20%; 相栋等^[22]在防治小菜蛾的室内测定时发现虫螨脲与激健配合使用有明显的增效作用, 田间试验表明, 在保证防效的前提下, 添加激健可使虫螨脲悬浮剂使用量减少 20%。

山西省长治市壶关县番茄种植面积大, 近两年随着降雨量的增多使田间湿度增大引起番茄早疫病频发, 番茄种植户在使用化学农药时会出现施药量增加、施药次数增多等不合理举措。前期调研发现壶关县尚无种植户配施农药助剂进行大田生产。因此, 本研究以长治市壶关县试验田番茄早疫病为研究对象, 对该病原菌进行形态学及分子生物学鉴定, 在明确该试

验田番茄早疫病病原菌种类后, 对该病原菌的生物学特性进行研究(温度、pH、光照及碳源), 并以当地常用防治药剂 325 g/L 苯甲·啞菌酯(悬浮剂)为药剂对照, 引入激健减药降残增产助剂液剂, 结合室内测定抑菌率和田间防效验证激健减药降残增产助剂液剂在番茄早疫病减药控害中的作用, 以期为田间科学管理及生产中用药技术的有效推广提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 样品

番茄品种‘日润天下’, 长治市日润农业技术服务有限公司。

1.2 培养基

PDA 培养基参考文献^[2]配制。

1.3 主要试剂和仪器

苯甲·啞菌酯, 先正达南通作物保护有限公司; 激健(激健减药降残增产助剂液剂的简称), 四川蜀峰作物科学有限公司; 琼脂粉、葡萄糖、果糖、蔗糖、麦芽糖和可溶性淀粉, 国药集团化学试剂有限公司。电子天平, 康州 HZ 电子有限公司; PCR 仪, 杭州柏恒科技有限公司; 智能人工气候箱, 浙江托普云农科技股份有限公司; 背负式电动喷雾器, 山东丰迹农业机械有限公司。

1.4 样品采集及病原菌分离

2024 年 7 月, 在山西省长治市壶关县番茄试验田随机采取典型症状的早疫病叶(图 1), 将其装入干净的样品袋, 并做好标记。于 24 h 内对部分叶片进行分离, 剩余样品于 4 °C 保存备用。采用组织分离法^[24–25], 选取病症特征清晰的番茄叶片, 于病健组织的交界处, 剪取面积约为 1 cm² 的植物组织块。依次用 75% 的乙醇消毒 30 s, 1% 的次氯酸钠消毒 3 min, 灭菌后的水冲洗 3 次, 随后将其放置在经过灭菌处理的滤纸上, 等待晾干。待组织块晾干后接种到 PDA 培养基, 25 °C 暗培养 5 d。待分离物经过多次纯化后(编号 W1)置于试管 PDA 培养基中, 待菌丝长满后置于 4 °C 暂时保存。



图1 田间番茄早疫病叶
Figure 1 Field manifestation of early blight on tomato leaves.

1.5 番茄早疫病病原菌 W1 的鉴定

1.5.1 番茄早疫病病原菌 W1 形态学观察

将纯化后的番茄早疫病病原菌 W1 菌饼接种于 PDA 培养基中央, 25 °C 全黑暗环境中培养 7 d, 每天定时观察菌株 W1 菌落形态、颜色。在显微镜下观察菌株 W1 孢子形态^[26], 参照《真菌鉴定手册》^[27]鉴定菌株 W1 的种类。

1.5.2 番茄早疫病病原菌 W1 分子生物学鉴定

通过 CTAB 法提取菌株 W1 基因组 DNA^[28]。选择适用于真菌的通用引物 ITS1 (5'-TCCGTA GGTGAACCTGCGG-3') 和 ITS4 (5'-TCCTCCG CTTATTGATATGC-3') 进行 PCR。PCR 反应体系(10 μL): 2×Taq PCR MasterMix 10 μL, ITS1 (10 μmol/L) 1 μL, ITS4 (10 μmol/L) 1 μL, DNA 模板 1 μL, 加 ddH₂O 至 20 μL。扩增条件: 95 °C 5 min; 95 °C 30 s, 56 °C 30 s, 72 °C 1 min, 共 30 次循环; 72 °C 5 min。将 PCR 产物送南京集思慧远生物科技有限公司测序, 测序数据在 NCBI 平台上进行 BLAST 检索及比对分析。采用 MEGA-X 软件中的邻接法(neighbor-joining,

NJ)构建菌株 W1 的系统发育树, 设定校验参数为 1 000, 其余参数为软件默认值。

1.6 番茄早疫病病原菌 W1 致病性回接验证

选用赫柯氏法来进行回接验证试验^[29]。本试验选用 10 株长势一致、健康无病的番茄幼苗进行致病性盆栽试验。接种前将分离纯化好的病原菌 W1 在超净工作台上用 8 mm 打孔器沿菌落边缘打成菌饼, 于定植 2 周后在植株中段部位选取 2 片健康叶片, 分别在其叶部用灭菌后的接种针划出伤口, 将菌株 W1 的菌饼反复涂抹于伤口处, 用透明胶带进行固定。接种后将盆栽浇足水, 放置于阴凉处。2 d 后去除胶带和菌饼。逐天观察番茄幼苗发病情况, 并将幼苗发病症状与番茄早疫病田间发病症状作对比。

1.7 番茄早疫病病原菌 W1 生物学特性研究

不同碳源对菌株 W1 生长的影响: 将菌株 W1 菌饼(直径 8 mm)分别接种于 5 种不同碳源(果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖和可溶性淀粉) PDA 培养基的中心位置, 其中果糖、蔗糖、麦芽糖和可溶性淀粉用量与 PDA 培养基中的葡萄糖等质量替换, 同时以不添加糖作为空白对照, 于 25 °C 全黑暗环境中培养 4 d, 试验设 5 次重复, 采用十字交叉法测量菌株 W1 的菌落直径。

不同 pH 对菌株 W1 生长的影响: 将菌株 W1 菌饼分别接种于 pH 值为 5.0、6.0、7.0、8.0、9.0、10.0、11.0 的 PDA 培养基中心位置, pH 值用 1 mol/L HCl 溶液和 1 mol/L NaOH 溶液调整, 将接菌培养基置于 25 °C 全黑暗环境中培养 4 d, 试验设 5 次重复, 采用十字交叉法测量菌株 W1 的菌落直径。

不同温度对菌株 W1 生长的影响: 将菌株 W1 的菌饼接种于 PDA 培养基中心位置, 随后将接菌培养基分别置于 5、10、15、20、25、28、30、35 °C 的恒温培养箱内, 于全黑暗环境

中培养 4 d, 试验设 5 次重复, 采用十字交叉法测量菌株 W1 的菌落直径。

不同光照类型对菌株 W1 生长的影响: 将菌株 W1 的菌饼接种于 PDA 培养基中心位置, 随后将接菌培养基分别置于不同光照条件(24 h 全光照、24 h 全黑暗和光暗交替 12 h/12 h), 于 25 °C 恒温条件培养 4 d, 试验设 5 次重复, 采用十字交叉法测量菌株 W1 的菌落直径。

1.8 苯甲·嘧菌酯悬浮剂配施激健抑制番茄早疫病病原菌 W1 的减药试验

1.8.1 室内抑菌试验

室内抑菌试验共 8 个处理, 设 5 次重复。按照试验设定称取相应质量药剂(表 1), 将药剂分别加入到灭菌后冷却至 50 °C 的 PDA 培养基(200 mL)中, 混匀, 制取含药平板。将菌株 W1

菌饼接入 PDA 培养基中央, 于 25 °C 恒温培养箱暗培养, 对照为不含药剂的 PDA 培养基(CK), 此操作全程在无菌操作台上进行。待第 7 天对照组的菌落接近培养皿的皿壁时, 采用十字交叉法测量菌株 W1 的菌落直径, 并按公式(1)计算处理组的生长抑制率。

生长抑制率(%)=(对照菌落的直径-处理菌落直径)/(对照菌落的直径-菌饼直径)×100 (1)

1.8.2 田间防效试验

田间防效试验共 7 个处理(表 2), 设 4 次重复, 共计 28 个小区, 每小区面积为 72 m², 其中株距为 0.4 m, 行距为 1.5 m, 喷施清水作为试验对照。试验共施药 2 次, 2024 年 7 月 16 日第 1 次施药, 2024 年 7 月 24 日第 2 次施药, 施药前 1 d 及 2 次施药 7 d 后调查病情, 按公式(2)和

表 1 不同处理药剂用量(室内抑菌试验)

Table 1 The dosage of chemicals in different treatments (laboratory antibacterial test)

处理 Treatment	供试药剂 Test agent	使用剂量 Dosage of drugs used (g)
BC	苯甲·嘧菌酯悬浮剂 Difenoconazole+azoxystrobin SC	0.134
BJ-1	苯甲·嘧菌酯悬浮剂+激健 Difenoconazole+azoxystrobin SC+Jijian	0.120
BJ-2	苯甲·嘧菌酯悬浮剂+激健 Difenoconazole+azoxystrobinSC+Jijian	0.106+0.10
BJ-3	苯甲·嘧菌酯悬浮剂+激健 Difenoconazole+azoxystrobinSC+Jijian	0.094+0.10
BJ-4	苯甲·嘧菌酯悬浮剂+激健 Difenoconazole+azoxystrobin SC+Jijian	0.080+0.10
BJ-5	苯甲·嘧菌酯悬浮剂+激健 Difenoconazole+azoxystrobin SC+Jijian	0.066+0.10
PC	助剂激健 Adjuvant Jijian	0.100
CK	空白对照 CK	0

SC 为 suspension concentrate 的缩写。下同。

SC stands for suspension concentrate. The same below.

表 2 不同处理药剂质量浓度(田间防效试验)

Table 2 Mass concentration of different treatments (field efficacy test)

处理 Treatment	供试药剂 Test agent	质量浓度 Mass concentration (g/L)
BC	苯甲·嘧菌酯悬浮剂 Difenoconazole+azoxystrobin SC	0.67
BJ-1	苯甲·嘧菌酯悬浮剂+激健 Difenoconazole+azoxystrobin SC+Jijian	0.60+0.50
BJ-2	苯甲·嘧菌酯悬浮剂+激健 Difenoconazole+azoxystrobin SC+Jijian	0.53+0.50
BJ-3	苯甲·嘧菌酯悬浮剂+激健 Difenoconazole+azoxystrobin SC+Jijian	0.47+0.50
BJ-5	苯甲·嘧菌酯悬浮剂+激健 Difenoconazole+azoxystrobin SC+Jijian	0.33+0.50
PC	助剂激健 Adjuvant Jijian	0.50
CK	清水(空白对照 CK)	0

公式(3)计算病情指数及防治效果。药剂试验期间温度为 20–35 °C，田间环境有利于番茄早疫病发生。选用电动喷雾器全株施药(以 1 hm² 地喷施 675 L 药液计量)。施药当日多云转晴无风，其他栽培管理措施相同。

病情调查采取随机 5 点取样法，2 株作为一个样点，每株植株取上、中、下部位叶片各 10 片调查。调查的分界标准是叶片上的病斑面积占叶面积的百分比；病害等级划分标准(以单片叶为计量单位)：0 级为叶片无病斑；1 级为病斑覆盖面积占植株叶面积的 5% 以下；3 级为病斑覆盖面积占植株叶面积的 6%–10%；5 级为病斑覆盖面积占植株叶面积的 11%–20%；7 级为病斑覆盖面积占植株叶面积的 21%–50%；9 级为病斑覆盖面积占植株叶面积的 50% 以上。

病情指数(%)=

$$\frac{\sum(\text{各级病叶数} \times \text{相对级数值})}{\text{调查总叶数} \times 9} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{防治效果}(\%) = \left(1 - \frac{Ck_0 \times Pt_1}{Ck_1 \times Pt_0}\right) \times 100 \quad (3)$$

式(3)中： Ck_0 ，空白对照区施药前病情指数； Ck_1 ，空白对照区施药后病情指数； Pt_0 ，药剂处理区施药前病情指数； Pt_1 ，药剂处理区施药后病情指数。

1.9 数据处理

应用 Excel 2016 进行数据处理，采用 Origin 2022 绘制图片，采用 SPSS 软件对数据结果进行单因素方差分析，采用 Duncan 氏新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 番茄早疫病病原菌 W1 鉴定结果

2.1.1 病原菌 W1 形态学鉴定结果

在 PDA 培养基上，菌株 W1 菌落呈圆形或近圆形，初呈白色或灰白色(图 2A)，后逐渐变为烟灰色(图 2B)。显微镜下成熟孢子呈倒棒状形，淡褐色至黄褐色，有 4–6 个横隔膜，0–2 个纵或斜隔膜(图 2C)。喙以及柱状假喙为淡褐色。综上，初步鉴定菌株 W1 为链格孢属(*Alternaria*)真菌。

2.1.2 菌株 W1 分子生物学鉴定结果

以菌株 W1 基因组作为模板，通过 ITS 引物扩增，获得的扩增产物长度为 540 bp。将该序列上传 NCBI，获得的登录号为 KU324783.1，ITS 序列比对结果显示菌株 W1 与极细链格孢(*Alternaria tenuissima*)序列相似性为 100%。通过 NCBI 平台获取极细链格孢不同菌株的 ITS 序列，并选取香葱链格孢(*Alternaria porri*)、芸

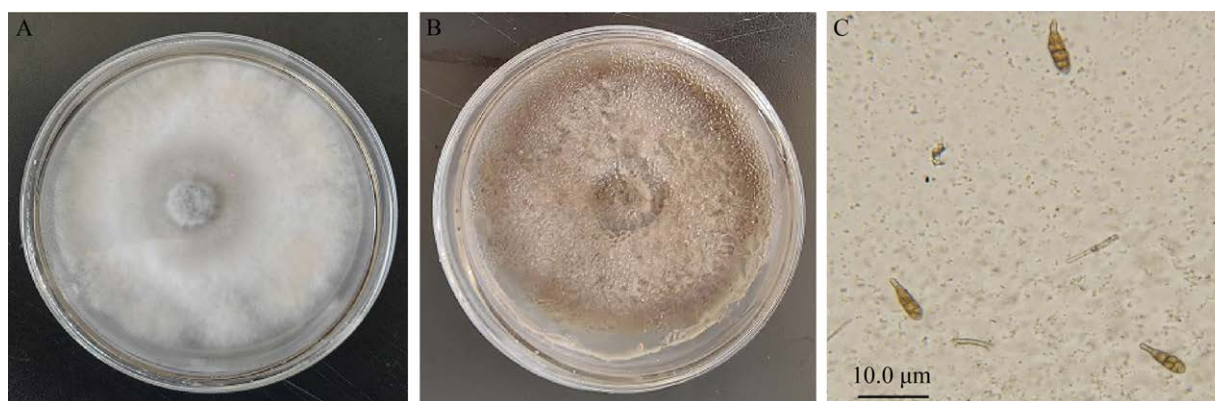


图 2 菌株 W1 在培养基上的菌落形态及孢子形态 A: PDA 上培养 4 d 时的菌落形态; B: PDA 上培养 7 d 时的菌落形态; C: 孢子形态。

Figure 2 Colony morphology and spore morphology of strain W1 on the medium. A: Colony morphology at 4 d cultured on PDA; B: Colony morphology at 7 d cultured on PDA; C: Spore morphology.

苔链格孢 (*Alternaria brassicae*)、茄链格孢 (*Alternaria solani*) 作为参照外群, 构建菌株 W1 的系统发育树。结果表明菌株 W1 与极细链格孢 (*Alternaria tenuissima*) KX 783391.1 聚在一个分支上(图 3)。因此, 综合菌株 W1 的菌落形态、孢子形态和分子鉴定结果, 确定菌株 W1 为极细链格孢 (*A. tenuissima*)。

2.2 番茄早疫病病原菌 W1 致病性回接验证

致病性回接试验发现, 番茄幼苗在接种 W1 菌饼 4 d 后叶部发病症状显现(图 4A)。接种菌株 W1, 其叶部呈现同心轮纹状。将发病组织进行分离、纯化后, 获得菌株 J1, 观察菌株 J1 的菌落形态(图 4B)和孢子形态(图 4C), 发现其与菌株 W1 的菌落形态和孢子形态完全一致。以菌株 J1 基因组作为模板, 通过 ITS 基因引物扩增, 获得扩增产物长度为 541 bp, 将该序列上

传至 NCBI, 获得登录号为 KC337039.1。结果显示菌株 J1 与极细链格孢 (*A. tenuissima*) 序列相似性为 100%。综上, 确定菌株 J1 与接种菌株 W1 为相同病原菌。因此判定极细链格孢 (*A. tenuissima*) 为试验田番茄早疫病致病病原。

2.3 番茄早疫病病原菌 W1 生物学特性分析

不同碳源生长试验中(图 5A), 菌株 W1 在 5 种碳源中均可不同程度地生长。在果糖为碳源的培养基上, 菌株 W1 菌丝生长最快, 菌落直径为 66.00 mm, 其次为淀粉; 再次为葡萄糖。菌株 W1 在麦芽糖为碳源的培养基上菌落直径与不含糖培养基的菌落直径差异不显著, 在蔗糖为碳源的培养基上生长最慢, 究其原因, 不含糖培养基中含有一定量的土豆, 其可为菌株 W1 提供淀粉来源。因此, 果糖为菌株 W1 菌丝生长的最佳碳源。

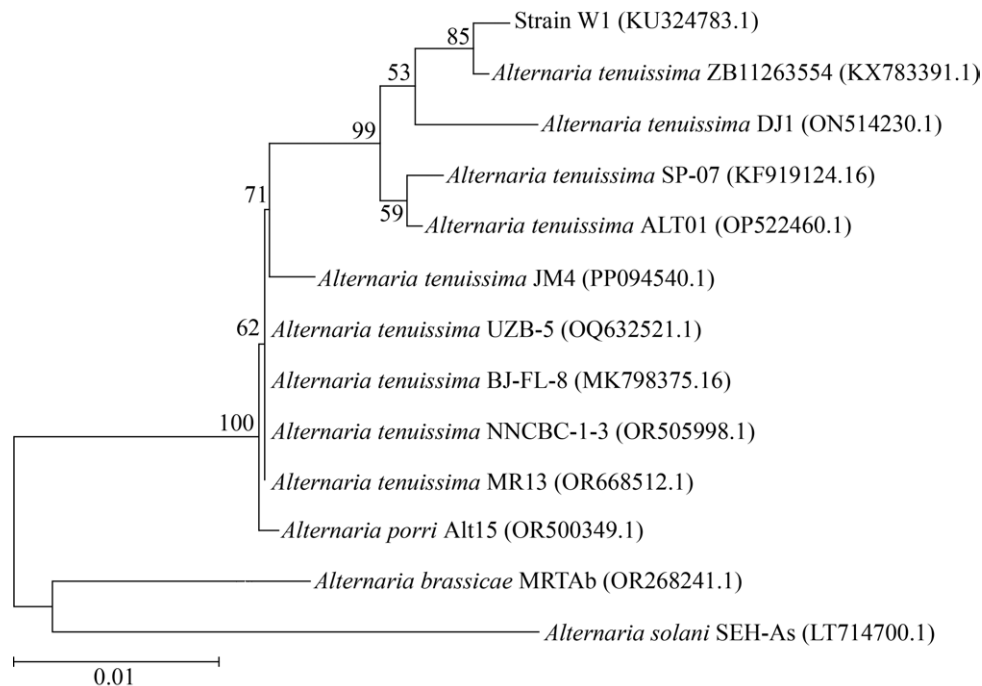


图 3 基于 ITS 序列构建的菌株 W1 的系统发育树 括号内的序列号为 GenBank 登录号; 各分支点上数字代表 bootstrap 的支持率; 标尺代表进化距离。

Figure 3 The phylogenetic tree of strain W1 based on ITS sequences. The GenBank accession number of aligned sequences were shown in the parenthesis; The number on each branch nodes represent bootstrap value; The scale bar represents the evolutionary distance.



图4 菌株 W1 回接后叶片症状(A)、菌株 J1 的菌落形态(B)及孢子形态(C)

Figure 4 Leaf symptoms of strain W1 after re-inoculating treatment (A), colony morphology (B) and spore morphology of strain J1 (C).

在光照生长试验中(图 5B), 全黑暗处理对菌株 W1 生长最有利, 其菌落直径为 65.40 mm, 显著高于全光照和光暗交替处理。因此, 24 h 全黑暗是菌株 W1 菌丝生长的最佳光照条件。

不同温度生长试验中(图 5C), 菌株 W1 对温度的适应范围较广, 除在 5 °C 和 10 °C 未见生长, 在 15–35 °C 均可生长。菌株 W1 在温度为 28 °C 时菌丝生长最快, 其菌落直径为 65.4 mm。当温度高于 30 °C 时菌丝生长明显受到抑制。因此, 28 °C 是菌株 W1 菌丝生长的最佳温度。

在 pH 生长试验中(图 5D), 菌株 W1 在 pH 5.0–10.0 范围内均可生长, pH 11.0 时 W1 不再生长。pH 7.0 时, 菌株 W1 的菌丝生长最快, 25 °C 全黑暗环境中培养 4 d 后菌落直径为 65.00 mm, 其次为弱酸性条件; 碱性条件不利于菌株 W1 生长。因此, 7.0 是菌株 W1 菌丝生长的最佳 pH。

2.4 苯甲·嘧菌酯悬浮剂配施激健对病原菌 W1 的抑菌分析

2.4.1 室内抑菌活性分析

八个处理中菌株 W1 菌落直径均有不同程度的增长, 其中苯甲·嘧菌酯悬浮剂配施激健处理的菌株 W1 菌落直径均明显小于空白对照。BJ-1 处理(减药 10%+激健)中菌株 W1 的菌落直径最小, 该处理抑菌效果最好(图 6)。BC 处理(常规用药)与 BJ-1 处理中菌株 W1 在培养第 4 天的

菌落直径均为 13 mm, 4 d 后 BC 处理中菌株 W1 菌丝依然有小幅度增长, BJ-1 处理中菌株 W1 的菌丝则不再增长, 说明 BJ-1 处理对菌株 W1 的抑菌效果优于 BC 处理(图 7A)。

CK 处理中菌株 W1 在培养第 7 天时菌丝铺满整个培养基, 此时, 8 个处理对菌株 W1 的生长抑制率依次为 BJ-1 处理>BC 处理>BJ-2 处理>BJ-3 处理>BJ-4 处理>BJ-5 处理>PC 处理(激健处理), 并且相互之间差异显著, 其中, BJ-1 处理对菌株 W1 的生长抑制率为 93.90%, BC 处理对菌株 W1 的生长抑制率为 85.37%, 二者均在 80% 以上; PC 处理对菌株 W1 的生长抑制率为 15% (图 7B), 说明助剂激健本身对菌株 W1 影响小, 它在与苯甲·嘧菌酯协同作用时改善了药液的某些性能, 如提高药液溶解性、改善润湿性等^[30], 从而提高了苯甲·嘧菌酯悬浮剂对菌株 W1 的抑制。

2.4.2 田间药效分析

田间第 1 次施药后 7 d 结果表明(表 3), BJ-1 处理和 BJ-2 处理对番茄早疫病的防治效果分别为 77.54% 和 72.94%, 均比 BC 处理的防治效果好且差异显著; BC 处理对番茄早疫病的防治效果介于 BJ-2 处理与 BJ-3 处理之间; BJ-3 处理对番茄早疫病的防治效果仍在 60% 以上; PC 处理的防治效果与清水对照 CK 相当。

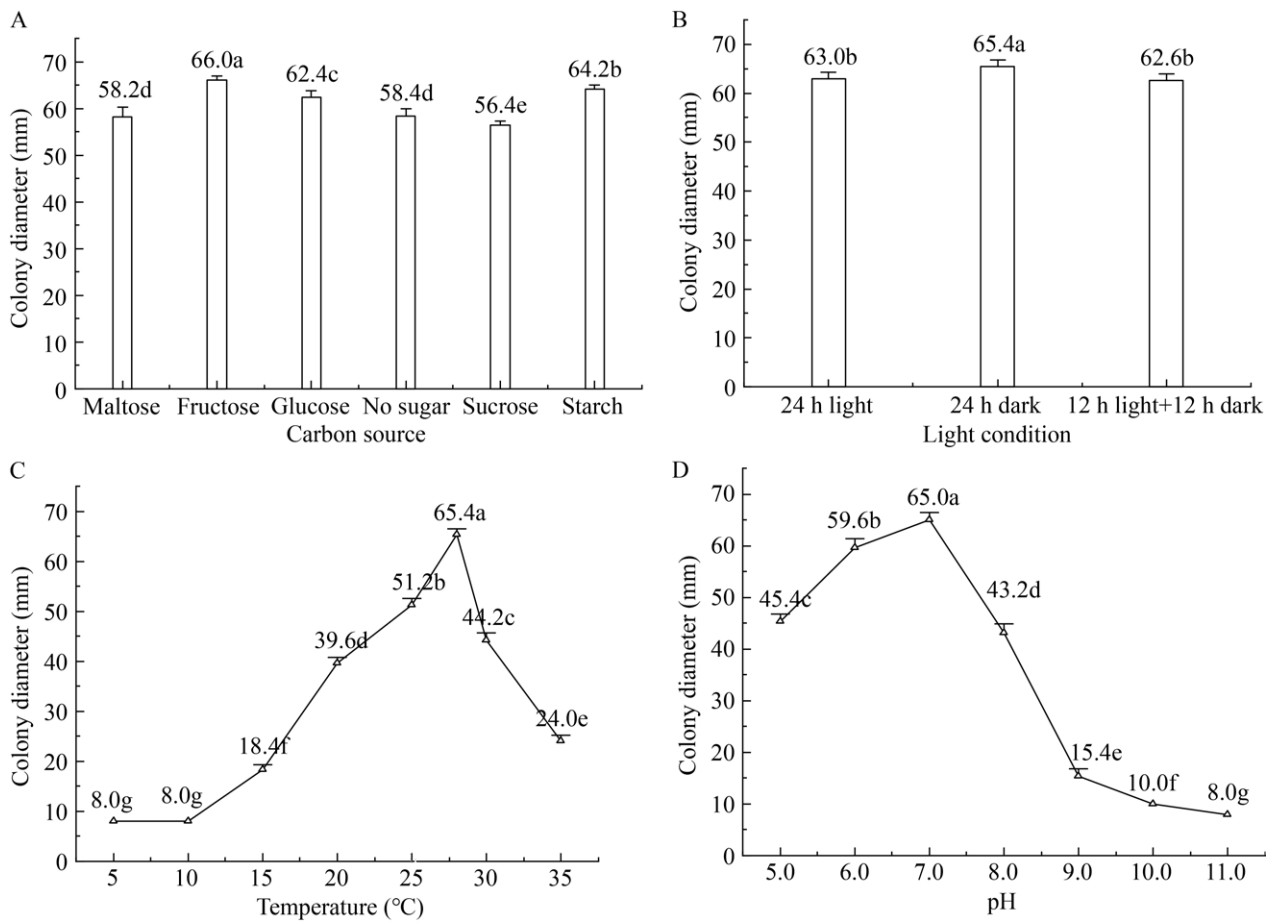


图 5 不同碳源(A)、光照(B)、温度(C)和 pH (D)对菌株 W1 菌丝生长的影响 不同小写字母表示处理在 $P<0.05$ 水平呈显著差异。下同。

Figure 5 Effects of different carbon sources (A), light (B), temperature (C) and pH (D) on mycelial growth of strain W1. Different lowercase letters indicate significantly differences at $P<0.05$ level among treatments. The same below.



图 6 菌株 W1 在不同处理中培养第 7 天的菌落形态 从左到右依次为处理 CK (空白对照)、PC (激健处理)、BC (常规用药)、BJ-1 (减药 10%+激健)、BJ-2 (减药 20%+激健)、BJ-3 (减药 30%+激健)、BJ-4 (减药 40%+激健)、BJ-5 (减药 50%+激健)。

Figure 6 Colony morphology of strain W1 cultured in different treatments on the 7th day. From left to right are CK (Blank control), PC (adjuvant Jijian), BC (Conventional medication), BJ-1 (Reduce medication by 10%+adjuvant Jijian), BJ-2 (Reduce medication by 20%+adjuvant Jijian), BJ-3 (Reduce medication by 30%+adjuvant Jijian), BJ-4 (Reduce medication by 40%+adjuvant Jijian), BJ-5 (Reduce medication by 50%+adjuvant Jijian).

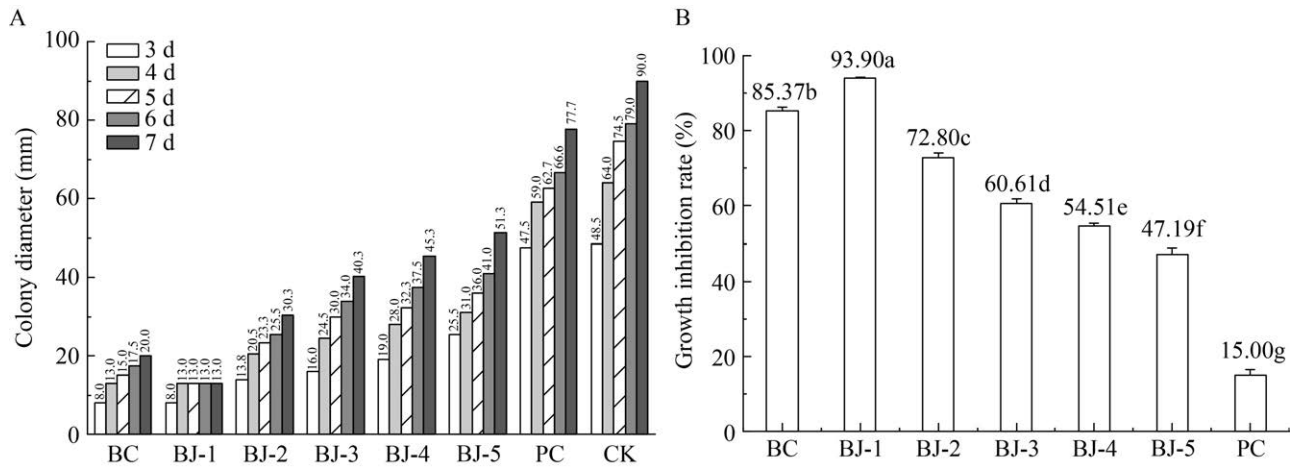


图 7 不同处理和不同培养时间菌株 W1 的菌落直径(A)和培养第 7 天菌丝的生长抑制率(B)

Figure 7 Colony diameter of strain W1 under different treatments and cultivation times (A), as well as the growth inhibition rate (B) of mycelium on the 7th day of cultivation.

表 3 添加助剂激健的减药配比试验(第 1 次药后)

Table 3 The evaluation of dosage reduction ratio through additive adjuvant Jijian (after the first dose)

处理 Treatment	供试药剂 Test agent	药前病情指数 Disease index before applying pesticide (%)	第 1 次药后 7 d 7 days after the first dose	
			病情指数 Disease index (%)	防效 Control efficacy (%)
BC	苯甲·嘧菌酯 SC 常规用量 Benomyl SC 100%	0.77	3.77	68.68±0.09c
BJ-1	苯甲·嘧菌酯 SC 用量减少 10%+激健 Benomyl SC 90%+Jijian	0.81	2.84	77.54±0.37a
BJ-2	苯甲·嘧菌酯 SC 用量减少 20%+激健 Benomyl SC 80%+Jijian	0.81	3.43	72.94±0.32b
BJ-3	苯甲·嘧菌酯 SC 用量减少 30%+激健 Benomyl SC 70%+Jijian	0.78	4.66	61.79±0.15d
BJ-5	苯甲·嘧菌酯 SC 用量减少 50%+激健 Benomyl SC 50%+Jijian	0.77	6.34	47.29±0.18e
PC	助剂激健 Adjuvant Jijian	0.73	11.13	2.45±0.10f
CK	清水 Water	0.74	11.56	-

—: 无数据。下同。

—: No data. The same below.

田间第 2 次药后 7 d 结果表明(表 4), BJ-1 处理对番茄早疫病的防治效果为 83.40%, BJ-2 处理对番茄早疫病的防治效果为 80.32%, 均显著高于 BC 处理的防治效果; PC 处理的防治效果与清水对照 CK 相当。

3 讨论

已报道的长治市壶关县番茄早疫病病原为茄链格孢^[31]。本课题组在对长治市壶关县番茄试验田的早疫病病原分离纯化后, 鉴定结果显示试验田番茄早疫病病原为极细链格孢

表 4 添加助剂激健的减药配比试验(第二次药后)

Table 4 The evaluation of dosage reduction ratio through additive adjuvant Jijian (after the second dose)

处理 Treatment	供试药剂 Test agent	药前病情指数 Disease index before applying pesticide (%)	第二次药后 7 d 7 days after the second dose	
			病情指数 Disease index (%)	防效 Control efficacy (%)
BC	苯甲·嘧菌酯 SC 常规用量 Benomyl SC 100%	0.77	4.69	73.99±0.26c
BJ-1	苯甲·嘧菌酯 SC 用量减少 10%+激健 Benomyl SC 90%+Jijian	0.81	3.15	83.40±0.21a
BJ-2	苯甲·嘧菌酯 SC 用量减少 20%+激健 Benomyl SC 80%+Jijian	0.81	3.73	80.32±0.28b
BJ-3	苯甲·嘧菌酯 SC 用量减少 30%+激健 Benomyl SC 70%+Jijian	0.78	5.47	70.03±0.43d
BJ-5	苯甲·嘧菌酯 SC 用量减少 50%+激健 Benomyl SC 50%+Jijian	0.77	7.83	56.53±0.22e
PC	助剂激健 Adjuvant Jijian	0.73	16.79	1.72±0.03f
CK	清水 Water	0.74	17.31	—

(*A. tenuissima*), 回接致病试验验证了这一结果。可见, 长治市壶关县番茄早疫病病原呈现多样性, 并非一种致病菌引起。极细链格孢宿主范围广, 可引起花椒黑胫病^[32]、植物叶斑病^[33-34]、苹果叶枯病^[35]、猕猴桃软腐病^[36]等多种病害, 由极细链格孢引起番茄早疫病的报道极少^[2]。由于地域的差异性及病原菌的多样性、复杂性, 极细链格孢的生物学特性往往表现不同。本研究通过测量不同碳源、不同培养温度、不同光照类型及不同 pH 条件下极细链格孢菌株 W1 的菌落直径, 探究其生长习性, 为田间科学管理提供数据参考。

本研究数据分析表明极细链格孢菌株 W1 对果糖的利用效果最好, 此结果与尚晓静等^[33]报道的极细链格孢菌株 S1 最适碳源为淀粉, 孟婷婷等^[37]报道的极细链格孢菌株 SNHS21B 最适碳源为麦芽糖, 以及张自强等^[38]报道的极细链格孢菌株最适碳源是葡萄糖结果不一致。

极细链格孢菌株 W1 的适宜生长区为 25–28 °C, 此结果与孟婷婷等^[37]报道的结果一致。极细链格孢菌株 W1 的最适生长温度为 28 °C, 此结果与尚晓静等^[33]报道的极细链格孢

菌株 S1 最适生长温度为 25 °C 结果不一致。

极细链格孢菌株 W1 在全黑暗条件下菌丝生长最快, 此结果与木扎帕尔·吐鲁洪等^[39]报道的结果一致。与尚晓静等^[33]、孟婷婷等^[37]报道的光照类型对极细链格孢生长影响不大结果不一致。

极细链格孢菌株 W1 最适 pH 值为 7.0, 此结果与木扎帕尔·吐鲁洪等^[39]报道的结果一致。与尚晓静等^[33]、张自强等^[38]报道的极细链格孢在碱性环境中最宜生长结果不一致。

前人研究报道, 在化学农药中适量地加入喷雾助剂可以改善药液的润湿铺展性能, 提高药液的沉积率, 进而减少药液的有效成分用量, 提高防效, 是化学农药减量增效的重要手段之一^[40-42]。付瑞霞等^[43]研究表明, 添加激健助剂后异丙隆药液的表面张力和叶面接触角显著降低, 药液在叶面上的干燥时间缩短, 沉积量增加, 能够实现异丙隆减量增效的目的。罗东洋等^[44]研究表明, 杀菌剂(三唑酮和丙环唑)混用激健后, 在减少 30%–50% 用量时进行茎叶处理可有效防治小麦条锈病。本研究结果表明助剂激健能使苯甲·嘧菌酯悬浮剂使用量减少 20%

的情况下达到显著优于常规施药的防治效果, 此结果与前人报道一致。

本研究中田间试验结果与室内抑菌试验结果略有出入, 究其原因应与试验环境的不同有关, 田间环境较为复杂且实时变化, 而室内环境较为稳定。在对极细链格孢菌株 W1 的生物学特性研究中发现极细链格孢菌株 W1 受生长环境的影响很大。番茄早疫病爆发期处于昼长夜短时期且试验田土壤 pH 值为 8.42, 属于碱性环境, 而碱性环境及光照均会抑制极细链格孢菌株 W1 生长, 因此田间环境对极细链格孢菌株 W1 本身就有一定的抑制作用。由于一切科研成果均为用于生产实际, 因此此次研究更看重田间数据。两次药后试验结果表明添加助剂激健可在化学药剂用量减少 10% 和 20% 的情况下均达到显著优于常规用药的防治效果。由于本研究旨在筛选出保证药效的前提下苯甲·嘧菌酯悬浮剂的最大减少量, 因此激健配施苯甲·嘧菌酯悬浮剂减量 20% 为本研究最适配比, 此次研究可为田间有效减少农药用量提供科学指导。

4 结论

研究结果表明极细链格孢(*A. tenuissima*)即为番茄试验田早疫病致病菌, 该菌株营养生长的最适碳源为果糖, 最适生长温度为 28 °C, 最适 pH 值为 7.0, 在全黑暗条件下菌丝生长速度最快。田间试验结果表明添加助剂激健能够在苯甲·嘧菌酯悬浮剂使用量减少 20% 的情况下实现显著增效的目的, 为本试验中的最适减药配比。本研究明确了长治市壶关县番茄早疫病的另一种病原菌种类, 为壶关县番茄种植户田间管理及用药技术提供了数据支持。

作者贡献声明

王佼: 实验设计, 撰写文章; 韩文清: 实验操作; 苏秀敏: 修改文章; 王秋兰: 实验操作; 李鹏: 数据收集与分析。

作者利益冲突公开声明

作者声明绝无任何可能会影响本文所报告工作的已知经济利益或个人关系。

REFERENCES

- [1] VLOUTOGLOU I, KALOGERAKIS SN. Effects of inoculum concentration, wetness duration and plant age on development of early blight (*Alternaria solani*) and on shedding of leaves in tomato plants[J]. *Plant Pathology*, 2000, 49(3): 339-345.
- [2] 赵颖, 张兰香, 岳弘辰, 黄金光. 青岛市番茄早疫病病原菌鉴定及防治药剂筛选[J]. *北方园艺*, 2018(13): 11-15.
ZHAO Y, ZHANG LX, YUE HC, HUANG JG. Identification and fungicide selection of *Alternaria tenuissima* causing tomato early blight in Qingdao[J]. *Northern Horticulture*, 2018(13): 11-15 (in Chinese).
- [3] GRIGOLLI JFJ, KUBOTA MM, ALVES DP, RODRIGUES GB, CARDOSO CR, Da SILVA DJH, MIZUBUTI ESG. Characterization of tomato accessions for resistance to early blight[J]. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 2011, 11(2): 174-180.
- [4] 孙一凡, 刘喆, 李海洋, 郑泽浩, 纪成隆, 郭俏, 来航线. 侧孢芽孢杆菌 B113 对番茄早疫病防治效果及机制[J]. *应用生态学报*, 2021, 32(1): 299-308.
SUN YF, LIU Z, LI HY, ZHENG ZH, JI CL, GUO Q, LAI HX. Biocontrol effect and mechanism of *Bacillus laterosporus* B113 against early blight disease of tomato[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, 32(1): 299-308 (in Chinese).
- [5] ARUNAKUMARA KT, KULKARNI MS, THAMMAIAH N, HEGDE YR. Fungicidal management of early blight of tomato[J]. *Indian Phytopathology*, 2020, 63: 96-97.
- [6] 吴锦兰, 魏希颖. 防治草莓重茬病多功能内生菌株的筛选及鉴定[J]. *陕西师范大学学报(自然科学版)*, 2021, 49(1): 105-111.
WU JL, WEI XY. Screening and identification of multifunctional endophytic strains for prevention and control of strawberry replant disease[J]. *Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition)*, 2021, 49(1): 105-111 (in Chinese).
- [7] 朱晓琴, 方树贤, 刘冬梅, 郑爱珍, 张庆琛, 裴冬丽. 辣椒炭疽病生防菌株的筛选、鉴定及其抑菌机理[J]. *植物保护学报*, 2023, 50(4): 913-922.
ZHU XQ, FANG SX, LIU DM, ZHENG AZ, ZHANG QC, PEI DL. Screening, identification and antifungal mechanism of bacterial biocontrol strains against hot pepper anthracnose[J]. *Journal of Plant Protection*, 2023, 50(4): 913-922 (in Chinese).
- [8] 张丽荣, 陈杭, 杜玉宁, 康萍芝, 张治科. 不同生物农药对黄瓜白粉病和霜霉病的防治试验[J]. *农药*, 2019, 58(11): 831-833.
ZHANG LR, CHEN H, DU YN, KANG PZ, ZHANG ZK. The evaluation of control effects several biopesticides against cucumber powdery mildew and

- cucumber downy mildew[J]. *Agrochemicals*, 2019, 58(11): 831-833 (in Chinese).
- [9] PARANAGAMA PA, ABEYSEKERA KHT, ABEYWICKRAMA K, NUGALIYADDE L. Fungicidal and anti-aflatoxigenic effects of the essential oil of *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf. (lemongrass) against *Aspergillus flavus* Link. isolated from stored rice[J]. *Letters in Applied Microbiology*, 2003, 37(1): 86-90.
- [10] KIRK WW, ABU-EL SAMEN FM, MUHINYUZA JB, HAMMERSCHMIDT R, DOUCHES DS, THILL CA, GROZA H, THOMPSON AL. Evaluation of potato late blight management utilizing host plant resistance and reduced rates and frequencies of fungicide applications[J]. *Crop Protection*, 2005, 24(11): 961-970.
- [11] 李进, 张军高, 王伟, 雷斌. 不同增效剂对噻虫嗪防治棉蚜的减量增效作用[J]. *农药*, 2018, 57(12): 912-915.
LI J, ZHANG JG, WANG W, LEI B. Decrement and synergistic effect of synergists in preventing cotton aphids with thiamethoxam[J]. *Agrochemicals*, 2018, 57(12): 912-915 (in Chinese).
- [12] 杨石有, 张蕊, 张贺, 王红刚, 王洪星, 陈银华. 五种喷雾助剂对 240 g/L 螺螨酯悬浮剂和 15% 哒螨灵乳油防治木瓜秀粉蚧的增效作用[J]. *农药学报*, 2019, 21(4): 531-537.
YANG SY, ZHANG R, ZHANG H, WANG HG, WANG HX, CHEN YH. Synergistic effect of five spray adjuvants on spirodiclofen 240 g/L suspension concentrate and pyridaben 15% emulsifiable concentrate for the control of *Paracoccus marginatus*[J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2019, 21(4): 531-537 (in Chinese).
- [13] 景亮亮, 柴军发, 赵斌荣, 田晓曦, 洪波, 贾彦霞. 三种喷雾助剂与杀虫剂混配防治烟粉虱的减量增效作用[J]. *应用昆虫学报*, 2021, 58(5): 1166-1175.
JING LL, CHAI JF, ZHAO BR, TIAN XX, HONG B, JIA YX. Synergistic effect of three kinds of spray adjuvants mixed with three kinds of pesticides on *Bemisia tabaci*[J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2021, 58(5): 1166-1175 (in Chinese).
- [14] 刘永强, 张贵森, 周超, 王伟, 胡延萍, 慕卫. 阳离子助剂 1227 和 C₈₋₁₀ 及有机硅助剂 Breakthru S240 对三种杀虫剂的增效作用[J]. *昆虫学报*, 2011, 54(8): 902-909.
LIU YQ, ZHANG GS, ZHOU C, WANG W, HU YP, MU W. Synergistic action of cationic adjuvants 1227 and C₈₋₁₀ and the silicone adjuvant Breakthru S240 to three insecticides[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2011, 54(8): 902-909 (in Chinese).
- [15] 徐广春, 顾中言, 徐德进, 许小龙. 促进稻田农药利用效率的表面活性剂筛选[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(7): 1370-1379.
XU GC, GU ZY, XU DJ, XU XL. Screening of surfactants for promoting the efficiency of pesticide used in paddy field[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(7): 1370-1379 (in Chinese).
- [16] AL-KHATIB K, KADIR S, LIBBEY C. Effect of adjuvants on bentazon efficacy in green pea (*Pisum sativum*)[J]. *Weed Technology*, 1995, 9(3): 426-431.
- [17] 胡飞, 徐丽娜, 胡本进, 徐婷婷, 毕思佳, 吴振晨, 吴艳, 李桂萍, 陈永田, 王年安, 苏贤岩, 王振营. PDMS 系列助剂对 10% 甲维盐·氯虫苯甲酰胺悬浮剂防治草地贪夜蛾的增效作用[J]. *植物保护*, 2024, 50(1): 304-310, 315.
HU F, XU LN, HU BJ, XU TT, BI SJ, WU ZC, WU Y, LI GP, CHEN YT, WANG NA, SU XY, WANG ZY. Synergistic effect of PDMS series adjuvants on emamectin benzoate·chlorantraniliprole 10% SC against *Spodoptera frugiperda*[J]. *Plant Protection*, 2024, 50(1): 304-310, 315 (in Chinese).
- [18] 常向前, 吕亮, 郑正安, 王晶, 邓颖骏, 杨小林, 王佐乾, 张舒. 四种助剂对防治褐飞虱的植物源农药 1% 印楝素水分散剂毒力的影响[J]. *昆虫学报*, 2024, 67(4): 490-497.
CHANG XQ, LÜ L, ZHENG ZA, WANG J, DENG YJ, YANG XL, WANG ZQ, ZHANG S. Effects of four adjuvants on the toxicity of botanical pesticide 1% azadirachtin WG against the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae)[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2024, 67(4): 490-497 (in Chinese).
- [19] 张红艳, 洪波, 李凯, 张暄翊, 毕建宇, 王芳, 贾彦霞. 喷雾助剂对不同剂型吡虫啉药液理化性能与沉积的影响[J]. *植物保护*, 2023, 49(6): 155-163.
ZHANG HY, HONG B, LI K, ZHANG XY, BI JY, WANG F, JIA YX. Effect of spray adjuvants on physical properties and deposition of imidacloprid solution in different formulation[J]. *Plant Protection*, 2023, 49(6): 155-163 (in Chinese).
- [20] 封云涛, 李光玉, 郭晓君, 刘中芳, 杜恩强, 范仁俊, 张润祥. 两种表面活性助剂在农药减量防治小菜蛾中的应用[J]. *农药学报*, 2015, 17(5): 603-609.
FENG YT, LI GY, GUO XJ, LIU ZF, DU EQ, FAN RJ, ZHANG RX. Study on application of two kinds of surfactant in dose-reduced chemical control of *Plutella xylostella* (Linnaeus)[J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2015, 17(5): 603-609 (in Chinese).
- [21] 田志慧, 袁国徽, 高萍, 沈国辉. 不同喷雾助剂对稻田除草剂减量作用的研究[J]. *植物保护*, 2020, 46(3): 297-302.
TIAN ZH, YUAN GH, GAO P, SHEN GH. Effects of different spray adjuvants on the reduction of herbicide application in rice fields[J]. *Plant Protection*, 2020, 46(3): 297-302 (in Chinese).
- [22] 相栋, 旺珍, 陈翰秋, 杨杰, 德庆卓嘎, 尼玛玉珍. 4 种增效剂对 3 种小菜蛾防治药剂的增效作用[J]. *植物保护*, 2021, 47(4): 310-316.
XIANG D, WANG Z, CHEN HQ, YANG J, DEQING ZG, NIMA YZ. Synergisms of four synergists to three insecticides for the control of *Plutella xylostella*[J]. *Plant Protection*, 2021, 47(4): 310-316 (in Chinese).
- [23] 樊东, 鲁冰瑜, 杨洪佳, 陈雅茹, 李泽, 张良. 几种绿色方法防治大豆蚜效果研究[J]. *东北农业大学学报*, 2020, 51(8): 17-23.
FAN D, LU BY, YANG HJ, CHEN YR, LI Z, ZHANG L. Study on efficiency of several green control methods on *Aphis glycines*[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2020, 51(8): 17-23 (in Chinese).

- [24] 代丽婷, 刘东, 张艳菊. 黑龙江省冬小麦雪腐病病原鉴定及生物学特性研究[J]. 植物保护, 2013, 39(1): 44-49.
DAI LT, LIU D, ZHANG YJ. Pathogen identification and biological characteristics of the winter wheat snow mold in Heilongjiang Province[J]. Plant Protection, 2013, 39(1): 44-49 (in Chinese).
- [25] 王飞, 杨瑾, 李雪梦, 赵莹, 刘玉霞, 秦艳红, 高素霞, 文艺, 鲁传涛. 牛膝枯萎病原鉴定、生物学特性及防治药剂筛选[J]. 植物病理学报, 2024, 54(1): 49-58.
WANG F, YANG J, LI XM, ZHAO Y, LIU YX, QIN YH, GAO SX, WEN Y, LU CT. Isolation, biological characterization of the pathogen causing *Fusarium* wilt on *Achyranthes bidentata* and fungicide screening[J]. Acta Phytopathologica Sinica, 2024, 54(1): 49-58 (in Chinese).
- [26] ZHENG HH, ZHAO J, WANG TY, WU XH. Characterization of *Alternaria* species associated with potato foliar diseases in China[J]. Plant Pathology, 2015, 64(2): 425-433.
- [27] 魏景超. 真菌鉴定手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1979: 165-180.
WEI JC. Fungal Identification Manual[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1979: 165-180 (in Chinese).
- [28] 刘少华, 陆金萍, 朱瑞良, 戴富明. 一种快速简便的植物病原真菌基因组 DNA 提取方法[J]. 植物病理学报, 2005, 35(4): 362-365.
LIU SH, LU JP, ZHU RL, DAI FM. A rapid and simple extraction method for plant pathogenic fungi[J]. Acta Phytopathologica Sinica, 2005, 35(4): 362-365 (in Chinese).
- [29] 方中达. 植病研究方法[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 1998: 110-182.
FANG ZD. Research Methods of Plant Diseases[M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 1998: 110-182 (in Chinese).
- [30] 周雅文, 贾美娟, 刘金凤, 张华清, 马建业, 徐宝财. 表面活性剂的性能与应用(XXIII): 表面活性剂在农药中的应用[J]. 日用化学工业, 2015, 45(11): 606-610.
ZHOU YW, JIA MJ, LIU JF, ZHANG HQ, MA JY, XU BC. Performance and applications of surfactants (XXIII) application of surfactants in pesticides[J]. China Surfactant Detergent & Cosmetics, 2015, 45(11): 606-610 (in Chinese).
- [31] 苏秀敏, 韩文清, 王佼, 李鹏, 王秋兰, 李万星, 李丹, 李小霞. 长治市番茄早疫病病原菌鉴定及防治药剂筛选[J]. 核农学报, 2024, 38(9): 1715-1723.
SU XM, HAN WQ, WANG J, LI P, WANG QL, LI WX, LI D, LI XX. Identification and fungicide selection of *Alternaria solani* causing tomato early blight in Changzhi[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2024, 38(9): 1715-1723 (in Chinese).
- [32] 史梁, 钱朝菊, 范兴科, 燕霞, 曹永红, 张洪, 陆欣, 马小飞. 沙蓬粗提物对陇南花椒黑胫病病原菌抑制作用研究[J]. 生物学杂志, 2025, 42(1): 61-66.
SHI L, QIAN CJ, FAN XK, YAN X, CAO YH, ZHANG H, LU X, MA XF. Study on the inhibitory effect of crude extract of *Agriophyllum squarrosum* on the pathogen of blackshank disease of *Zanthoxylum bungeanum* in Longnan[J]. Journal of Biology, 2025, 42(1): 61-66 (in Chinese).
- [33] 尚晓静, 罗妮星, 张富美, 侯瑞. 树莓极细链格孢菌叶斑病病原菌鉴定及其生物学特性[J]. 北方园艺, 2021(16): 24-32.
SHANG XJ, LUO NX, ZHANG FM, HOU R. Identification of *Alternaria tenuissima* pathogen of raspberry leaf blotch and its biological characteristics[J]. Northern Horticulture, 2021(16): 24-32 (in Chinese).
- [34] 范文忠, 王振, 顾园园, 姜仁婧, 孙达, 黎浩然. 水蜡叶斑病病原菌鉴定及对药剂的敏感性[J]. 农药, 2020, 59(1): 60-64.
FAN WZ, WANG Z, GU YY, JIANG RJ, SUN D, LI HR. Pathogen identification of *Ligustrum obtusifolium* leaf spot and fungicides susceptibility[J]. Agrochemicals, 2020, 59(1): 60-64 (in Chinese).
- [35] 邵学辉, 张树武, 徐秉良. 长枝木霉代谢物对极细链格孢产毒抑制机制解析[J]. 果树学报, 2024, 41(1): 133-142.
SHAO XH, ZHANG SW, XU BL. Identification and mechanism of *Trichoderma longibrachiatum* metabolites in inhibiting the *Alternaria tenuissima* toxin production[J]. Journal of Fruit Science, 2024, 41(1): 133-142 (in Chinese).
- [36] 凌立贞, 陈林燕, 涂丹丹, 张书东. 冷藏期内红阳猕猴桃软腐病病原菌的分离与鉴定[J]. 安徽农学通报, 2023, 29(6): 114-118.
LING LZ, CHEN LY, TU DD, ZHANG SD. Isolation and identification of pathogenic fungi causing fruit rot of Hongyang kiwifruit during cold storage[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2023, 29(6): 114-118 (in Chinese).
- [37] 孟婷婷, 刘闯, 齐鹰博, 代汉萍, 刘艳茹, 严雪瑞. 树莓茎溃疡病病原菌鉴定及其生物学特性研究[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(5): 15-20.
MENG TT, LIU C, QI YB, DAI HP, LIU YR, YAN XR. Identification of pathogen of raspberry stem canker and its biological characteristics[J]. China Plant Protection, 2019, 39(5): 15-20 (in Chinese).
- [38] 张自强, 李继平, 郑果, 许彬彬, 翟艳青, 惠娜娜, 王立, 马娅楠. 蒲公英叶斑病原菌分离鉴定与生物学特性研究[J]. 西北农业学报, 2024, 33(6): 1140-1148.
ZHANG ZQ, LI JP, ZHENG G, XU BB, ZHAI YQ, HUI NN, WANG L, MA YN. Pathogen identification and biological characteristics of dandelion leaf spot disease[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2024, 33(6): 1140-1148 (in Chinese).
- [39] 木扎帕尔·吐鲁洪, 乌汉夫, 侯雨, 初荧荧, 刘传, 霍美竹, 崔国文. 细绿萍黑腐病病原菌鉴定及其生物学特性和防治药剂筛选[J]. 草地学报, 2023, 31(12): 3651-3660.
TULUHONG Muzhapaer, WU HF, HOU Y, CHU YY, LIU C, HUO MZ, CUI GW. Identification and biological characteristics of the pathogen causing

- Azolla filiculoides* black rot and its effective agents screening[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2023, 31(12): 3651-3660 (in Chinese).
- [40] 陈利, 沈煜洋, 高海峰, 白微微, 范贵强, 张航, 杨安沛, 王锁牢, 刘琦, 李广阔. 增效剂对红枣-小麦间作麦田除草剂减量效应[J]. *西北农业学报*, 2021, 30(2): 304-312.
CHEN L, SHEN YY, GAO HF, BAI WW, FAN GQ, ZHANG H, YANG AP, WANG SL, LIU Q, LI GK. Effect of herbicides reduction by adding synergist in jujube-wheat intercropping field[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2021, 30(2): 304-312 (in Chinese).
- [41] 郭晓君, 封云涛, 李娅, 李光玉, 庾琴, 张润祥. 3种喷雾助剂对呋虫胺防治苹果黄蚜的增效作用[J]. *植物保护*, 2022, 48(4): 341-345, 352.
GUO XJ, FENG YT, LI Y, LI GY, YU Q, ZHANG RX. Synergistic effect of three surfactants on dinotefuran against *Aphis citricola*[J]. *Plant Protection*, 2022, 48(4): 341-345, 352 (in Chinese).
- [42] 王斌, 司乃国, 郭静, 遇璐, 赵杰. 不同助剂对啮菌酯防治 3种植物病害的增效作用[J]. *农药学报*, 2020, 22(2): 293-298.
WANG B, SI NG, GUO J, YU L, ZHAO J. Synergistic effect of different adjuvants on azoxystrobin against three plant diseases[J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2020, 22(2): 293-298 (in Chinese).
- [43] 付瑞霞, 王俊平, 董立尧. 4种助剂对异丙隆防除茴草的增效作用[J]. *植物保护*, 2021, 47(3): 70-75.
FU RX, WANG JP, DONG LY. Synergism of four adjuvants to isoproturon in controlling *Beckmannia syzigachne*[J]. *Plant Protection*, 2021, 47(3): 70-75 (in Chinese).
- [44] 罗东洋, 彭昌家, 王明文, 白体坤, 丁攀, 郑艳, 鲜铁军, 杨宇衡. 农药增效助剂“激健”在小麦条锈病防治中的应用效果[J]. *中国农学通报*, 2018, 34(11): 113-117.
LUO DY, PENG CJ, WANG MW, BAI TK, DING P, ZHENG Y, XIAN TJ, YANG YH. Pesticide synergist ‘jijian’: application effect on wheat stripe rust[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2018, 34(11): 113-117 (in Chinese).