梨白纹羽病菌杀菌剂室内毒力测定及防效分析

王雪倩[1] 李秋颖[1] 杨晓平[2] 张中欢[1] 王利平[1*]

（1. 华中农业大学植物科学技术学院，湖北省作物病害监测与安全控制重点实验室，武汉 430070；
2. 湖北省农业科学院果树茶叶研究所，果树种质创新与利用湖北省重点实验室，武汉 430064）

摘要：为明确防治梨白纹羽病病原菌褐座坚壳菌*Rosellinia necatrix*的有效化学杀菌剂，采用菌丝生长速率法测定7种杀菌剂对分离自湖北、福建等梨产区的3株褐座坚壳菌强致病力菌株的室内毒力，对筛选出的强致病力菌株HB1-1-15进行盆栽药效试验，并选取250 g/L嘧菌酯SC进行田间防效评价。结果表明：250 g/L嘧菌酯SC对3株供试菌株的平均EC_{50}为0.031 μg/mL，在供试药剂中抑菌活性最强；盆栽试验中，施药28 d后该药剂对梨白纹羽病的相对防效达98.33%；田间试验中，250 g/L嘧菌酯SC 800倍液结合土壤暴晒处理，施药4个月后病害减退率为68.71%，相对防效为57.53%。综上，250 g/L嘧菌酯SC可作为防治梨白纹羽病的候选药剂。

关键词：梨；白纹羽病；褐座坚壳菌；杀菌剂；土传病害

Laboratory toxicity of fungicides against pear white root rot pathogen *Rosellinia necatrix* and their control efficacy

Wang Xueqian[1] Li Qiuying[1] Yang Xiaoping[2] Zhang Zhonghuan[1] Wang Liping[1*]

（1. Key Laboratory of Plant Pathology of Hubei Province, College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, Hubei Province, China; 2. Hubei Key Laboratory of Germplasm Innovation and Utilization of Fruit Trees, Institute of Fruit and Tea, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, Hubei Province, China）

Abstract: To identify effective chemical fungicides for the control of pear white root rot, the mycelial growth rate method was used to determine the indoor toxicity of seven fungicides against three highly pathogenic strains of *Rosellinia necatrix* isolated from pear-producing regions including Hubei and Fujian provinces. The highly pathogenic strain HB1-1-15 was selected for pot efficacy tests, and 250 g/L azoxystrobin suspension concentrate (SC) was chosen for field efficacy evaluation. The results showed that 250 g/L azoxystrobin SC exhibited the strongest antifungal activity among the tested fungicides, with an average EC_{50} of 0.031 μg/mL for the three tested strains. In pot experiments, the relative control efficacy of azoxystrobin SC against pear white root rot reached 98.33% at 28 days post-application. In field trials, the combination of 250 g/L azoxystrobin SC at 800-fold dilution and soil solarization yielded a disease decline rate of 68.71% and a relative control efficacy of 57.53% at four months post-treatment. In conclusion, 250 g/L azoxystrobin SC represents a promising candidate fungicide for the control of pear white root rot.

Key words: pear; white root rot; *Rosellinia necatrix*; fungicide; soil-borne disease

梨白纹羽病是由褐座坚壳菌*Rosellinia necatrix*侵染引起的一种土传病害，该病菌在土壤中广泛分布，寄主范围广，具有抗干旱、对土壤pH耐受范围宽的特点（Khan，1959）。发病的树体向四周成行、成

基金项目：国家梨产业技术体系项目（CARS-28）

* 通信作者（Author for correspondence），Email：wlp09@mail.hzau.edu.cn

收稿日期：2025-11-05

列传染；一旦在果园中蔓延扩散就很难管控和防治，严重时可毁园（Pasini et al.，2016）。此外，褐座坚壳菌生活史中存在子囊孢子、厚垣孢子和分生孢子（Pérez-Jiménez，2006），其中分生孢子诱导困难，萌发率低（Nakamura et al.，2002；Pérez-Jiménez et al.，2003），子囊果仅在多年生病树根部产生（Pérez-Jiménez et al.，2003），这给该病害的室内研究和田间防控带来了较大困难，因此，探究褐座坚壳菌产孢体产生条件对明确梨白纹羽病田间发生流行具有重要意义。

本课题组依托国家梨产业技术体系各综合试验站对梨产区进行病害调查，发现近年来梨白纹羽病在我国梨产区如湖北、湖南、河南、山东、贵州、四川、福建、云南、广西、河北等省区均有不同程度的危害，并造成了经济损失（阳紫凌，2023）。目前，农业生产上杀菌剂仍是病害防控的重要手段，国内报道用于防治白纹羽病的杀菌剂有丙环唑、嘧菌酯（武晓静，2021）及甲基托布津等（冉昆等，2023），现有报道的杀菌剂种类少且缺乏系统的施药技术，迫切需要筛选出高效低毒的杀菌剂，用于有效防控梨产区白纹羽病害的发生。

本研究通过对梨白纹羽病田间症状调查、诱导褐座坚壳菌分离株产孢并观察分生孢子萌发情况，室内杀菌剂毒力测定、杜梨盆栽药效防治评价、梨园药剂防治系统研究，获得用于梨白纹羽病防治的有效药剂，以期为梨产区白纹羽病发生流行及综合防控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试菌株及植物：来源于湖北省、福建省和河南省的强致病力褐座坚壳菌菌株HB1-1-15、FJ2-2-5和HN1-1-1（阳紫凌，2023），保存于本实验室；梨树枝条采集于华中农业大学实践教育基地，品种为康德；供试杜梨种子来源于亚果种苗苏翠梨业伟奇苗木基地，种子用75%酒精表面消毒30 s左右，无菌水冲洗3遍以上浸没于无菌水中，37 ℃水浴10 h后播种，播种14 d后待其出苗，地上部分有两片子叶时，将其单株移栽至上口径6.5 cm、下口径5 cm、高6.5 cm的花盆中，每盆1株，实生苗生长至龄期约13周时供试；小麦粒为脱壳小麦仁，购于电商平台。

供试培养基：马铃薯葡萄糖琼脂（potato dextrose agar，PDA）培养基由马铃薯200 g、葡萄糖20 g、琼脂粉15 g、去离子水1 L配制而成；水琼脂培养基（water agar，WA）由琼脂粉15 g、去离子水1 L配制而成；燕麦培养基（oatmeal agar，OA）由燕麦30 g、琼脂粉15 g、去离子水1 L配制而成。

药剂、肥料、试剂及仪器：40%异菌·氟啶胺（iprodione·fluazinam）SC，江苏明德立达作物科技有限公司；50%多菌灵（carbendazim）WP，四川润尔科技有限公司；25%丙环唑（propiconazole）EC，先正达（苏州）作物保护有限公司；250 g/L嘧菌酯（azoxystrobin）SC，先正达（南通）作物保护有限公司；75%肟菌·戊唑醇（trifloxystrobin·tebuconazole）WG，南通泰禾化工股份有限公司；30%甲霜·恶霉灵（metalaxyl·hymexazol）SL，郑州郑氏化工产品有限公司；70%丙森锌（propineb）WP，拜耳股份公司；1%申嗪霉素（shenqinmycin）SC，上海农乐生物制品股份有限公司。硼肥，武汉高飞农业有限公司；锌肥，北京新禾丰农化资料有限公司；腐殖酸钾，山东田当家生态农业科技有限公司。其他试剂均为国产分析纯。SPD-9000生化培养箱，武汉瑞华仪器设备有限责任公司；Nikon ECLIPSE 80i光学显微镜，日本Nikon仪器公司；T8-BLB近紫外灯，上海丹启实业有限公司。

1.2 方法

1.2.1 梨白纹羽病田间发病症状调查

2023年4月至2024年8月，在湖北省枝江市百里洲镇双红砂梨合作社感染梨白纹羽病的梨园中展开调查，梨树品种为翠冠，树龄6年，行距3.7 m、株距1.3 m，将调查的梨树根部附近的土挖开，通过观察根部菌丝携带量及根部变褐程度明确其发病情况。

1.2.2 近紫外灯诱导褐座坚壳菌产孢

参照Nakamura et al.（2002）方法并略作改动，利用近紫外灯诱导褐座坚壳菌产孢。将菌株HB1-1-15在PDA上培养7 d后转接在OA培养基上，培养5 d后菌丝直径接近培养皿时，在菌丝边缘放置无菌的直径0.6~1.0 cm、长0.5 cm的梨树枝条，使其横截面朝上，25 ℃暗培养1 d，待菌丝附着在梨枝条上后，将培养皿转至近紫外灯下照射3周左右，用无菌针头刮取枝条表面长生的黑色颗粒状分生孢子器，置于无菌载玻片上，滴加少量无菌水于显微镜（40×物镜）下观察孢子形态。随机测量50个分生孢子的长和宽，使用ImageJ统计孢子大小。同时，将分生孢子制成孢子悬浮液，分别涂布于WA和OA培养基上，于显微镜下观察分生孢子萌发情况，共观察3次，每次观察3个玻片。

1.2.3 杀菌剂对3株褐座坚壳菌的室内毒力测定

采用菌丝生长速率法对褐座坚壳菌菌株HB1-

1-15、FJ2-2-5和HN1-1-1进行室内毒力测定，选取7种供试杀菌剂，将杀菌剂按有效成分制成1 000、250、50、25、2.5、1、0.5、0.1、0.05和0.01 μg/mL共10个质量浓度梯度的含药PDA平板，以含无菌水的PDA平板为对照，每个处理3个重复，测定每种杀菌剂对菌株的大致EC_{50}值，以该EC_{50}值为中间值等比设置5个不同的浓度梯度，其中250 g/L嘧菌酯SC和40%异菌·氟啶胺SC对3株菌株的浓度梯度为0.015、0.03、0.06、0.12和0.24 μg/mL；75%肟菌·戊唑醇WG浓度梯度对3株菌株的浓度梯度为0.012 5、0.025、0.05、0.1和0.2 μg/mL；50%多菌灵WP对3株菌株浓度梯度为0.025、0.05、0.1、0.2和0.4 μg/mL；30%甲霜·恶霉灵SL和70%丙森锌WP浓度梯度对3株菌株的浓度梯度为1、2、4、8和16 μg/mL；1%申嗪霉素SC对3株菌株的浓度梯度为0.25、0.5、1、2和4 μg/mL，测定精准的EC_{50}值，最终以杀菌剂的EC_{50}值大小来评价杀菌剂对菌株HB1-1-15、FJ2-2-5和HN1-1-1的抑制效果。使用IBM SPSS 27软件以杀菌剂浓度对数为自变量、菌丝生长抑制率的概率值为因变量建立毒力回归方程，并由回归方程计算各杀菌剂对菌株的EC_{50}及相关系数r。

1.2.4 杀菌剂对梨白纹羽病的室内盆栽防效测定

将褐座坚壳菌菌株HB1-1-15于PDA培养基上培养5 d，取菌丝块进行接种。室内盆栽试验设置3个药剂处理，分别为40%异菌·氟啶胺SC 1 000倍液、250 g/L嘧菌酯SC 1 000倍液和25%丙环唑EC 1 000倍液，以清水为对照。参照阳紫凌(2023)及高常燕等(2019)的方法并略作修改进行接种。小麦粒经无菌水浸泡过夜，高压灭菌后接入菌株HB1-1-15菌丝块，于25 ℃生化培养箱中培养14 d，待菌丝完全覆盖麦粒表面，作为接种源。将带菌小麦粒接种于杜梨根系附近，每盆3粒，接种2 d后，待菌丝缠绕侵染杜梨根部进行灌根施药处理，每盆1种药剂，每盆施药量为20 mL，每个处理30盆。施药后3 d少量浇水保持土壤湿润。第1次施药后7 d进行第2次灌根施药，共施药2次。在第1次灌根后第7、14、21和28天时分别统计3种杀菌剂发病情况，计算病情指数和防效。病情分级参考Arjona-López et al.(2022)与Martínez-Ferri et al.(2019)的方法，将梨白纹羽病地上部分受害症状分为0~4级：0级，健康植株；1级，地上部分开始出现下垂叶片；2级，下垂叶片超过总叶片的3/4，开始褪绿干枯；3级，叶片全部下垂，开始卷曲干枯或凋零；4级，叶片全部失绿干枯或植株死亡。病情指数=100×∑(各级病苗数×各级代表值)/(处理总数×最高级代表值)。防效=(对照病情指数−处理病情指数)/对照病情指数×100%。

1.2.5 杀菌剂对梨白纹羽病的田间防效测定

基于室内杀菌剂毒力测定和室内盆栽药效试验结果，选择250 g/L嘧菌酯SC 800倍液和40%异菌·氟啶胺SC 800倍液，结合土壤暴晒的方法，2024年在湖北省枝江市百里洲双红砂梨合作社的梨白纹羽病发病园内选取发病等级为0、1、2级的病株开展防治试验。在发病果园中共选择了205株梨树，其中250 g/L嘧菌酯SC 800倍液处理组为74株，40%异菌·氟啶胺SC 800倍液处理组均为76株，清水对照为55株。每个处理统一添加硼肥、锌肥和腐殖酸钾，均施用700 kg水、875 mL药剂、20 g硼肥、20 mL锌肥、200 g腐殖酸钾。施药前由果农以石硫合剂(生石灰∶硫磺∶水体积比为1∶2∶10)进行清园，调查供试梨树发病情况，然后进行施药，第1次施药时间为2024年4月26日，第2次施药时间为2024年5月27日，以梨树干为中心挖直径约为1 m、深度约20 cm的药穴，每株灌施药液15 kg。施药后土壤不盖回，使梨树根部在高温天气中暴晒。2024年8月22日对供试梨树田间发病情况进行调查。

根据在田间调查的梨白纹羽病具体发病情况，综合地下部分和地上部分受害症状田间病情共分为0~4级：0级，根部无肉眼可见菌丝，地上部分正常；1级，根部有少量菌丝或根颈部轻微褐变，地上部分正常；2级，主根或侧根有较多菌丝，病菌尚未侵入韧皮部或韧皮部受害程度轻，地上部分树势减弱或部分枝条叶片开始下垂；3级，根部有大量菌丝或除去外表皮可见菌丝侵染并为害根颈部，地上部分树势衰退，叶片褪绿萎蔫；4级，树体死亡。以田间调查发病情况为主，对2个药剂处理组和清水对照组的发病情况进行统计分析，计算发病率、病情指数、病害减退率及相对防效。发病率=发病株数/总株数×100%。病情指数=∑(各级病株数×该病级值)/(调查总株数×最高级值)×100。病害减退率=(施药前对照组的病情指数−施药后处理组的病情指数)/施药前对照组的病情指数×100%。相对防效=(处理组的病害减退率−对照组的病害减退率)/(1−对照组的病害减退率)×100%。

2 结果与分析

2.1 梨白纹羽病田间症状

田间调查发现，梨白纹羽病菌从接近土壤的梨树根颈部侵入，侵入形成层并向内扩展，环绕根茎表

面形成致密的白色网状菌丝层，同时从根颈部向下扩展蔓延至根部，主根或侧根被白色菌丝层覆盖（图1-A），导致根颈部和根部坏死，呈深褐色，病部皮层组织和初级木质部褐变松软，表皮易脱落，影响正常的水分和营养运输，树势衰弱，地上部分叶片整体下垂，沿主叶脉向四周黄化萎蔫，生长季节挂果少、果实皱缩发育不良。发病后期，整树叶片焦枯卷曲（图1-B），枝条干枯，落叶落果，发病严重时整株枯死。梨白纹羽病在田间主要通过带菌的根系向邻近健康的梨树蔓延，在梨园中有聚集性发生的特点，梨树种植密度大有利于病菌传播，导致成行或成片梨树枯死。此外，梨园中杂草根系附有白纹羽病菌菌丝，杂草生长速度快，除草后仍有大量根系残存在土壤中（图1-E），能作为有效介体促进梨白纹羽病的传播。在田间调查过程中未在病树根部观察到病菌的产孢体。



A~B：梨白纹羽病地上部分发病症状；C~D：梨白纹羽病地下部分发病症状；E：梨园杂草根部携带白色菌丝体。A–B: Above-ground symptoms of pear white root rot; C–D: below-ground symptoms of pear white root rot; E: white mycelia carried on the roots of weeds in a pear orchard.

图1　湖北省枝江市梨园白纹羽病为害症状

Fig. 1　Symptoms of pear white root rot in a pear orchard in Zhijiang City, Hubei Province

2.2　梨白纹羽病菌产孢体的形态观察分析

梨树枝条横截面上出现褐色簇生分生孢子梗，分生孢子梗上产生大量乳白色的分生孢子。分生孢子梗的顶端产生透明光滑、长椭圆形或卵圆形的分生孢子（图2），供试菌株HB1-1-15、FJ2-2-5和HN1-1-1都能产生分生孢子，形态无明显差异。测定结果显示，菌株HB1-1-15的分生孢子大小为（2.03~3.39）μm×（1.21~1.77）μm。涂布分生孢子悬浮液的在WA和OA平板上未观察到分生孢子萌发。

2.3　杀菌剂对梨白纹羽病菌的毒力

毒力测定结果显示，250 g/L嘧菌酯SC、40%异菌·氟啶胺SC和75%肟菌·戊唑醇WG对3株供试菌株HB1-1-15、FJ2-2-5和HN1-1-1的EC_{50}均不高于0.12 μg/mL，表现出较强的抑菌活性。其中，3株菌株对250 g/L嘧菌酯SC最敏感，EC_{50}分别为0.03、0.03和0.04 μg/mL；75%肟菌·戊唑醇WG对3株菌株的EC_{50}为0.04、0.12和0.07 μg/mL；40%异菌·氟啶胺SC对3株菌株的EC_{50}分别为0.04、0.05和0.05 μg/mL（表1）。其余供试杀菌剂中，50%多菌灵WP、30%甲霜·恶霉灵SL、70%丙森锌WP和1%申嗪霉素SC对3株供试菌株的EC_{50}在0.18~5.30 μg/mL之间。3株菌株对50%多菌灵WP和30%甲霜·恶霉灵SL的敏感性较一致，EC_{50}分别为0.68、0.63、0.68 μg/mL和2.26、2.30、3.38 μg/mL，对70%丙森锌WP和1%申嗪霉素SC对3株菌株的敏感性差异大，70%丙森锌WP对菌株FJ2-2-5和HN1-1-1的EC_{50}分别为5.30 μg/mL和0.18 μg/mL；1%申嗪霉素SC对菌株HB1-1-15和HN1-1-1的EC_{50}分别为4.73 μg/mL和1.97 μg/mL（表1）。

2.4　杀菌剂对梨白纹羽病的室内防效分析

灌根施药后第7天，清水对照梨苗发病率为93.33%，病情指数为54.17。250 g/L嘧菌酯SC、40%异菌·氟啶胺SC和25%丙环唑EC对梨白纹羽病的相对防效分别为93.85%、89.23%和87.69%。至第14天，清水对照的发病率升至100.00%，病情指数增至80.83；250 g/L嘧菌酯SC的相对防效提升至96.91%，而40%异菌·氟啶胺SC和25%丙环唑EC

的相对防效分别为71.13%和73.20%，防效有下降的趋势。灌根后21 d，清水对照的病情指数达到100.0，250 g/L嘧菌酯SC处理的发病率和病情指数降低，相对防效达98.33%，防效最好，在3种药剂中表现最优；其次为40%异菌·氟啶胺SC，相对防效为65.00%，25%丙环唑EC相对防效最差，为55.83%。灌根后28 d，250 g/L嘧菌酯SC的相对防效仍维持在98.33%，40%异菌·氟啶胺SC的相对防效降低至39.17%，25%丙环唑EC处理的相对防效降至25.83%，为3种药剂中最低（表2）。施药7~28 d的统计分析结果显示，40%异菌·氟啶胺SC和25%丙环唑EC随着施药时间的增加，梨苗发病率和病情指数持续增长，相对防效在持续降低；250 g/L嘧菌酯SC处理的相对，防效先稍有降低后升高直至趋于稳定达到98.00%左右。表明250 g/L嘧菌酯SC对盆栽梨苗上白纹羽病具有良好的防控作用。

表1 化学杀菌剂对3株褐座坚壳菌的毒力

Table 1 Toxicity of fungicides on three strains of *Rosellinia necatrix*

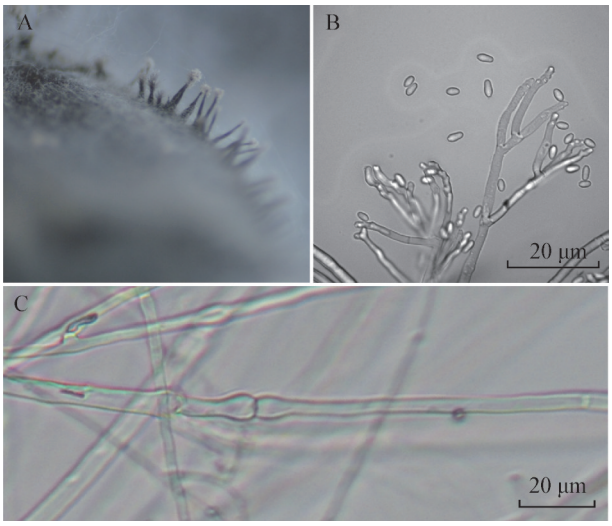
杀菌剂 Fungicide	菌株 Strain	毒力回归方程 Independent toxicity regression equation	相关系数 Correlation coefficient	EC_{50}/（μg/mL）
250 g/L嘧菌酯SC 250 g/L azoxystrobin SC	HB1-1-15	y=2.92+1.93x	0.97	0.03
	FJ2-2-5	y=1.86+1.21x	0.91	0.03
	HN1-1-1	y=2.23+1.56x	0.96	0.04
40%异菌·氟啶胺SC 40% iprodione•fluazinam SC	HB1-1-15	y=2.16+1.58x	0.98	0.04
	FJ2-2-5	y=2.24+1.75x	0.99	0.05
	HN1-1-1	y=2.04+1.52x	0.98	0.05
75%肟菌·戊唑醇WG 75% trifloxystrobin ·tebuconazole WG	HB1-1-15	y=1.65+1.19x	0.99	0.04
	FJ2-2-5	y=1.03+1.01x	0.99	0.12
	HN1-1-1	y=1.46+1.30x	0.94	0.07
50%多菌灵WP 50% carbendazim WP	HB1-1-15	y=0.58+3.15x	0.98	0.68
	FJ2-2-5	y=0.76+3.84x	0.95	0.63
	HN1-1-1	y=0.55+3.67x	0.91	0.68
30%甲霜·恶霉灵SL 30% metalaxyl · hymexazol SL	HB1-1-15	y=0.60+1.70x	0.99	2.26
	FJ2-2-5	y=0.85+2.28x	0.98	2.30
	HN1-1-1	y=0.81+1.41x	0.98	3.38
70%丙森锌WP 70% propineb WP	HB1-1-15	y=0.61+1.05x	0.98	3.86
	FJ2-2-5	y=1.02+1.43x	0.98	5.30
	HN1-1-1	y=0.51+0.67x	0.99	0.18
1%申嗪霉素SC 1% shenqinmycin SC	HB1-1-15	y=1.04+1.39x	0.93	4.73
	FJ2-2-5	y=0.78+1.78x	0.98	2.74
	HN1-1-1	y=0.68+2.21x	0.97	1.97

y为菌丝生长抑制率的概率值，x为杀菌剂质量浓度的常用对数。 y is the probit of mycelial growth inhibition rate; x is the common logarithm of fungicide mass concentration.

表2 3种杀菌剂对接种菌株HB1-1-15杜梨的盆栽防效

Table 2 Control effects of three fungicides on potted plants of *Pyrus betulifolia* inoculation with strain HB1-1-15

时间 Time/d	250 g/L嘧菌酯SC 1 000倍液 1 000×250 g/L azoxystrobin SC			40%异菌·氟啶胺SC 1 000倍液 1 000×40% iprodione·fluazinam SC			25%丙环唑EC 1 000倍液 1 000×25% propiconazole EC			清水对照 Water control		
	发病率 Disease incidence/%	病情指数 Disease index	相对防效 Relative efficacy/%	发病率 Disease incidence/%	病情指数 Disease index	相对防效 Relative efficacy/%	发病率 Disease incidence/%	病情指数 Disease index	相对防效 Relative efficacy/%	发病率 Disease incidence/%	病情指数 Disease index	相对防效 Relative efficacy/%
7	13.33	3.33	93.85	16.67	5.83	89.23	16.67	6.67	87.69	93.33	54.17	–
14	10.00	2.50	96.91	40.00	23.33	71.13	50.00	21.67	73.20	100.00	80.83	–
21	6.67	1.67	98.33	46.67	35.00	65.00	60.00	44.17	55.83	100.00	100.00	–
28	6.67	1.67	98.33	90.00	60.83	39.17	80.00	74.17	25.83	100.00	100.00	–



A：在梨树枝条横截面上产生大量簇状分生孢子梗；B：分生孢子梗尖端及分生孢子；C：菌丝隔膜处呈梨形膨大。A: Production of numerous clustered conidiophores on the cross-section of pear branches; B: tip of conidiophores and conidia; C: pear-shaped enlargement at the hyphal membrane.

图2　褐座坚壳菌菌株HB1-1-15诱导产孢体的形态

Fig. 2　Morphology of conidiophores and conidia induced by *Rosellinia necatrix* strain HB1-1-15

2.5　杀菌剂对梨白纹羽病的田间防效

第1次施药31 d后，250 g/L嘧菌酯SC 800倍液处理组的病害减退率达到49.15%，而40%异菌·氟啶胺SC 800倍液处理组的病害减退率为16.20%，清水对照组为15.79%。从相对防效来看，250 g/L嘧菌酯SC 800倍液表现出39.61%的相对防效，优于40%异菌·氟啶胺SC 800倍液处理的0.49%，表明40%异菌·氟啶胺SC 800倍液在本试验条件下对梨白纹羽病无明显防效。施药118 d后，各组病害减退率进一步变化，250 g/L嘧菌酯SC 800倍液上升至68.71%、40%异菌·啶胺SC 800倍液为54.29%、清水对照组为26.32%。两种药剂的相对防效分别为57.53%和37.97%，250 g/L嘧菌酯SC 800倍液效果良好。另外，从4月到8月随着时间的推移3个试验组的梨白纹羽病发病率和病情指数持续降低，到8月份时250 g/L嘧菌酯SC 800倍液、40%异菌·氟啶胺SC 800倍液和清水对照的发病率已低至2.70%、3.95%和9.09%（表3），梨树根部几乎没有白色菌丝体，说明经过夏季长时间持续高温暴晒能有效消除土壤中病原菌。

表3　2种杀菌剂结合土壤暴晒对梨白纹羽病的相对防效

Table 3　Relative control efficacy of two fungicides combined with soil solarization against pear white root rot

指标 Index	250 g/L嘧菌酯SC 800倍液+土壤暴晒 250 g/L azoxystrobin SC at 800-fold dilution+soil solarization			40%异菌·氟啶胺SC 800倍液+土壤暴晒 40% iprodione·fluazinam SC at 800-fold dilution+soil solarization			清水+土壤暴晒 Water+soil solarization		
	0 d	31 d	118 d	0 d	31 d	118 d	0 d	31 d	118 d
发病率 Disease incidence/%	16.22	9.46	2.70	15.79	11.84	3.95	21.82	14.55	9.09
病情指数 Disease index	6.42	4.39	2.70	6.25	7.24	3.95	8.64	7.27	6.36
病害减退率 Disease decline rate/%	–	49.15	68.71	–	16.20	54.29	–	15.79	26.32
相对防效 Relative control efficacy/%	–	39.61	57.53	–	0.49	37.97	–	–	–

3　讨论

本研究系统对湖北省枝江市百里洲镇双红砂梨合作社梨园发生的白纹羽病发生状况进行了调研分析，明确该病害由病树向四周成行成列传染。前人研究证实，杂草可被褐座坚壳菌侵染或定殖，其残留根系可作为病菌传播媒介（Sztejnberg，1980；Shiragane et al.，2019）。本研究亦观察到田间杂草携带病菌，表明杂草根系在病害定向扩散中起重要作用。梨白纹羽病在田间的潜伏期长、隐蔽性强，田间诊断滞后，导致梨树死亡、毁园风险高。田间湿度大、地势低洼、培土过厚、嫁接口过低、土壤板结酸化及管理粗放均可诱发该病，在发病梨园中幼龄梨树更容易被侵染（Martínez-Ferri et al.，2016；2019；阳紫凌，2023）。褐座坚壳菌在田间环境合适的条件下可形成一定数量的子囊壳和分生孢子梗束（Pliego et al.，2012）。本研究在田间调查过程中未在死树根部观察到子囊壳、分生孢子梗及分生孢子，进一步在室内紫外线灯照射下成功诱导了褐座坚壳菌分生孢子梗及分生孢子的形成，但未观察到分生孢子在

WA和OA平板上的萌发迹象，这与Nakamura et al.（2002）的研究结果一致。

本研究开展了室内杀菌剂毒力测定、杜梨盆栽试验及梨园药剂防效试验。室内杀菌剂毒力测定结果显示，EC_{50}在0.03~0.68 μg/mL之间的杀菌剂有250 g/L嘧菌酯SC、40%异菌·氟啶胺SC、75%肟菌·戊唑醇WG和50%多菌灵WP，其中50%多菌灵WP的EC_{50}低于陈宏州等（2018）报道的多菌灵对层出镰孢菌*Fusarium proliferatum*的EC_{50}，López-Herrera et al.（2007）试验也报道发现多菌灵对鳄梨上白纹羽病病原菌褐座坚壳菌抑制作用明显。氟啶胺对鳄梨上白纹羽病的防效显著高于其他杀菌剂，有效用于该病的田间防治（López-Herrera et al.，2007；Arjona-López et al.，2019；2020）。40%异菌·氟啶胺为保护性杀菌剂，不具有内吸性，和其他杀菌剂之间没有交叉抗性（Shao et al.，2015；Mao et al.，2018；Qu et al.，2018）。有研究表明，嘧菌酯对多种植物病原真菌均表现出良好的抑菌活性，如孟润杰等（2017）报道嘧菌酯对黄瓜霜霉病的防效约70%，该药剂为内吸性杀菌剂，灌根淋药后能够很好地被植物根系吸收和积累（Wang et al.，2021），在植物体内从根部向茎的易位能力有限（Ju et al.，2019；Xu et al.，2022；Wan et al.，2025），这一特性对于果树根部病害的防治尤为重要，因为药剂主要集中在根部发挥作用，这既可有效防治病害，又可降低果实中农药残留风险。在本研究杜梨盆栽苗接种防治试验中，250 g/L嘧菌酯SC 1 000倍液在施药后7~28 d的过程中相对防效从93.85%上升至98.33%，防效较好。

在田间防治试验中，250 g/L嘧菌酯SC 800倍液在施药后31 d、118 d后其防效从39.61%上升到57.53%，表现出较好的防效；另外，在调查期间清水对照组的梨白纹羽病随着时间的推移其病害减退率由15.79%升高到26.32%，说明经过夏季长时间持续高温暴晒土壤可以有效地消除病原菌。褐座坚壳菌具有不耐高温的特点，热水滴灌及夏季暴晒土壤等措施在防治果树白纹羽病中被多次报道（Eguchi et al.，2008），因此，在实际生产中可将药剂防治与土壤暴晒等物理防治措施相结合，以进一步提高防效。

综上所述，本研究通过室内杀菌剂毒力测定、盆栽杜梨苗接种强致病力褐座坚壳菌株防治及梨园药剂防效分析，筛选250 g/L嘧菌酯SC用于梨白纹羽病的防治，为梨白纹羽病的田间综合防治提供了科学的用药指导和防治依据。

参 考 文 献（References）

Arjona-López JM, Capote N, Melero-Vara JM, López-Herrera CJ, 2020. Control of avocado white root rot by chemical treatments with fluazinam in avocado orchards[J]. Crop Protection, 131: 105100

Arjona-López JM, Gmitter FG, Romero-Rodríguez E, Grosser JW, Hervalejo A, López-Herrera CJ, Arenas-Arenas FJ, 2022. Susceptibility of novel promising citrus rootstocks to white root rot[J]. Plants, 11(23): 3388

Arjona-López JM, Tienda S, Arjona-Girona I, Cazorla FM, López-Herrera CJ, 2019. Combination of low concentrations of fluazinam and antagonistic rhizobacteria to control avocado white root rot[J]. Biological Control, 136: 103996

Chen HZ, Yang HF, Yao KB, Shu ZL, Zhou HF, Zhuang YQ, 2018. Identification of rice bakanae pathogens and indoor toxicity test of fungicides[J]. Journal of Plant Protection, 45(6): 1356−1366 (in Chinese) [陈宏州, 杨红福, 姚克兵, 束兆林, 周华飞, 庄义庆, 2018. 水稻恶苗病病原菌鉴定及室内药剂毒力测定[J]. 植物保护学报, 45(6): 1356−1366]

Eguchi N, Tokutake H, Yamagishi N, 2008. Hot water treatment of Japanese pear trees is effective against white root rot caused by *Rosellinia necatrix* Prillieux[J]. Journal of General Plant Pathology, 74(5): 382−389

Gao CY, Li D, Li BH, Zhang JL, Dong XL, 2019. Screening and application of fungicides against southern blight caused by *Sclerotium rolfsii* on apple[J]. Plant Protection, 45(4): 255−260, 270 (in Chinese) [高常燕, 李栋, 李保华, 张俊丽, 董向丽, 2019. 苹果白绢病防治药剂的筛选及使用方法[J]. 植物保护, 45(4): 255−260, 270]

Ju C, Zhang HC, Yao SJ, Dong SX, Cao DT, Wang FY, Fang H, Yu YL, 2019. Uptake, translocation, and subcellular distribution of azoxystrobin in wheat plant (*Triticum aestivum* L.)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 67(24): 6691−6699

Khan AH, 1959. Biology and pathogenicity of *Rosellinia necatrix* (Hart.) Berl[J]. Biologia, 5: 199−245

López-Herrera CJ, Zea-Bonilla T, 2007. Effects of benomyl, carbendazim, fluazinam and thiophanate methyl on white root rot of avocado[J]. Crop Protection, 26(8): 1186−1192

Mao XW, Li JS, Chen YL, Song XS, Duan YB, Wang JX, Chen CJ, Zhou MG, Hou YP, 2018. Resistance risk assessment for fluazinam in *Sclerotinia sclerotiorum*[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 144: 27−35

Martínez-Ferri E, Moreno-Ortega G, van den Berg N, Pliego C, 2019. Mild water stress-induced priming enhance tolerance to *Rosellinia necatrix* in susceptible avocado rootstocks[J]. BMC Plant Biology, 19(1): 458

Martínez-Ferri E, Zumaquero A, Ariza MT, Barceló A, Pliego C, 2016. Nondestructive detection of white root rot disease in avocado rootstocks by leaf chlorophyll fluorescence[J]. Plant Disease, 100(1): 49−58

Meng RJ, Han XY, Wu J, Zhao JJ, Lu F, Wang WQ, 2017. Resistance dynamics of *Pseudoperonospora cubensis* to metalaxyl and

azoxystrobin and control efficacy of seven fungicides against cucumber downy mildew in Hebei Province[J]. Journal of Plant Protection, 44(5): 849−855 (in Chinese) [孟润杰, 韩秀英, 吴杰, 赵建江, 路粉, 王文桥, 2017. 河北省黄瓜霜霉病菌对甲霜灵和嘧菌酯的抗性动态及七种药剂的田间防效[J]. 植物保护学报, 44(5): 849−855]

Nakamura H, Ikeda KI, Arakawa M, Matsumoto N, 2002. Conidioma production of the white root rot fungus in axenic culture under near-ultraviolet light radiation[J]. Mycoscience, 43(3): 251−254

Pasini L, Prodorutti D, Pastorelli S, Pertot I, 2016. Genetic diversity and biocontrol of *Rosellinia necatrix* infecting apple in northern Italy[J]. Plant Disease, 100(2): 444−452

Pérez-Jiménez RM, 2006. A review of the biology and pathogenicity of *Rosellinia necatrix*: the cause of white root rot disease of fruit trees and other plants[J]. Journal of Phytopathology, 154(5): 257−266

Pérez-Jiménez RM, Zea-Bonilla T, López-Herrera CJ, 2003. Studies of *Rosellinia necatrix* perithecia found in nature on avocado roots[J]. Journal of Phytopathology, 151(11/12): 660-664

Pliego C, López-Herrera C, Ramos C, Cazorla FM, 2012. Developing tools to unravel the biological secrets of *Rosellinia necatrix*, an emergent threat to woody crops[J]. Molecular Plant Pathology, 13(3): 226−239

Qu XP, Li JS, Wang JX, Wu LY, Wang YF, Chen CJ, Zhou MG, Hou YP, 2018. Effects of the dinitroaniline fungicide fluazinam on *Fusarium fujikuroi* and rice[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 152: 98−105

Ran K, Zhang XF, Xia AQ, Dong R, Wei SW, Wang SM, 2023. Diagnosis and comprehensive countermeasure of hawthorn white root rot disease[J]. Journal of Fruit Resources, 4(2): 62−64 (in Chinese) [冉昆, 张雪飞, 夏爱青, 董冉, 魏树伟, 王少敏, 2023. 山楂白纹羽病的诊断与综合防控[J]. 果树资源学报, 4(2): 62−64]

Shao WY, Ren WC, Zhang Y, Hou YP, Duan YB, Wang JX, Zhou MG, Chen CJ, 2015. Baseline sensitivity of natural populations and characterization of resistant strains of *Botrytis cinerea* to fluazinam[J]. Australasian Plant Pathology, 44(4): 375−383

Shiragane H, Usami T, Shishido M, 2019. Weed roots facilitate the spread of *Rosellinia necatrix*, the causal agent of white root rot[J]. Microbes and Environments, 34(3): 340−343

Sztejnberg A, 1980. Host range of *Dematophora necatrix,* the cause of white root rot disease in fruit trees[J]. Plant Disease, 64(7): 662

Wan CR, Dong HY, Du YH, Gu JY, Zhang HY, Yang Z, Yu RY, Cao M, Huang YF, 2025. Distribution and accumulation dynamics of fungicide azoxystrobin in the soil-plant system[J]. Environmental Research, 274: 121287

Wang FY, Li X, Yu SM, He SH, Cao DT, Yao SJ, Fang H, Yu YL, 2021. Chemical factors affecting uptake and translocation of six pesticides in soil by maize (*Zea mays* L.)[J]. Journal of Hazardous Materials, 405: 124269

Wu XJ, 2021. Occurrence and control of main diseases in forest root[J]. Xiandai Nongcun Keji(11): 29−30 (in Chinese) [武晓静, 2021. 林木根部主要病害的发生与防治[J]. 现代农村科技(11): 29−30]

Xu SJ, Song JL, Shen F, Wang YN, Zhang LQ, Fang H, Yu YL, 2022. Uptake, accumulation, and translocation of azoxystrobin by vegetable plants in soils: influence of soil characteristics and plant species[J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 109(2): 386−392

Yang ZL, 2023. Identification of the pathogen causing white root rot of pear in China and virulence differentiation analysis[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University (in Chinese) [阳紫凌, 2023. 我国梨白纹羽病的病原鉴定及其致病力分化分析[D]. 武汉: 华中农业大学]

（责任编辑：王 璇）