

全国中文核心期刊
中国科技核心期刊
RCCSE中国核心学术期刊(A)
CSCD来源期刊
中国农林核心期刊(A)

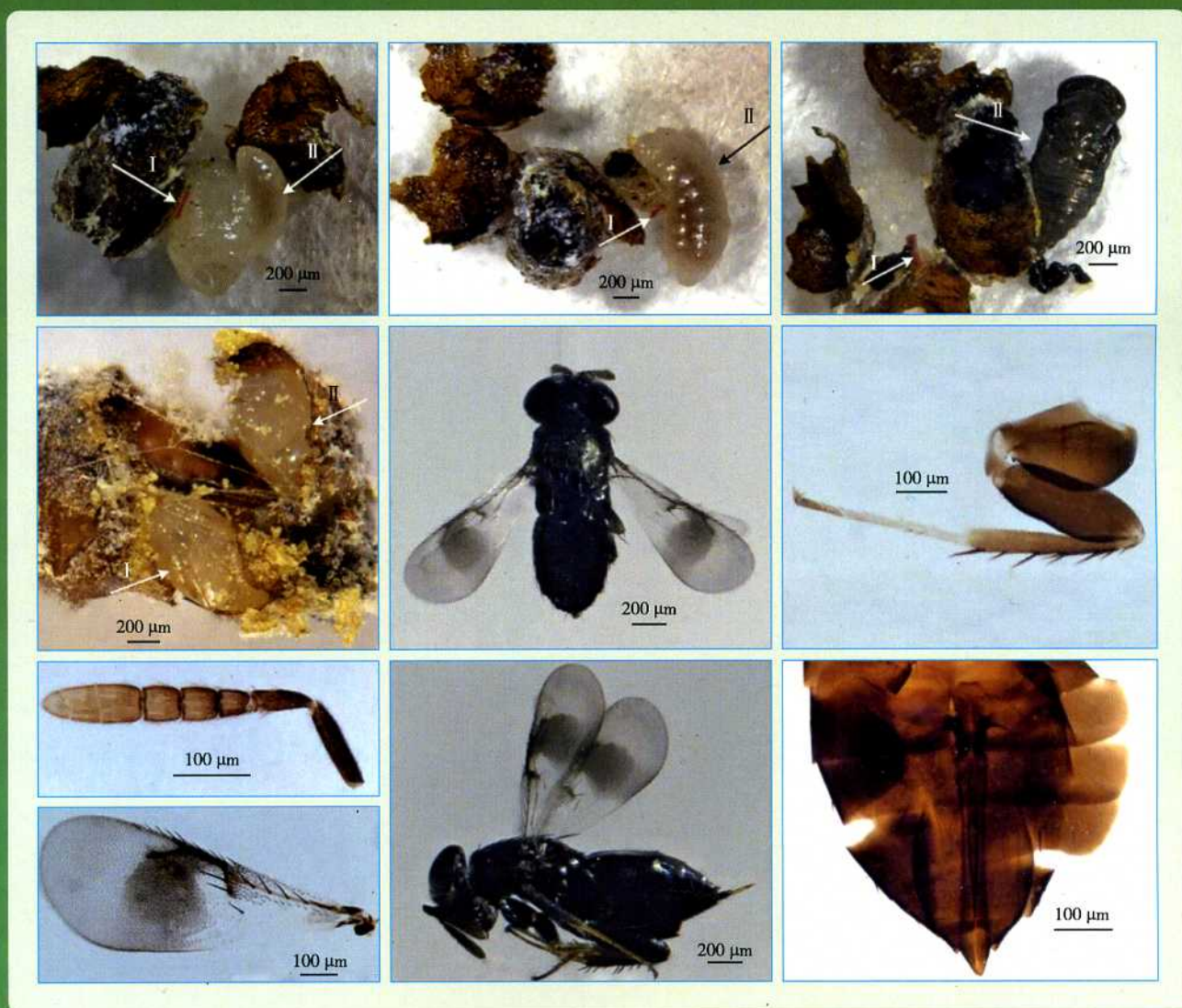
ISSN 2095-039X
CN 11-5973/S

中国生物防治学报

CHINESE JOURNAL OF BIOLOGICAL CONTROL

第39卷 第5期 2023年10月

Vol.39 No.5 October 2023



中国农业科学院植物保护研究所 主办
中国植物保护学会

目次

· 研究论文 ·

- 堆蜡粉蚧寄生蜂种类鉴别 董志刚, 贺彦怀, 罗叶, 黄建, 王竹红(1001)
- 不同虫态稻虱缨小蜂低温贮藏后的适合度 张居念, 连玲, 吴春珠, 董萌, 施龙清, 解振兴, 姜照伟, 占志雄(1015)
- 短时低温胁迫对日本食蚜蚜小蜂存活、发育及繁殖的影响 杨美娟, 陈俊谕, 叶政培, 符悦冠, 王建赟, 朱俊洪, 张方平(1029)
- 棉田诱集植物对棉蚜及捕食性天敌种群动态的影响 彭佳敏, 帕提玛·乌木尔汗, 郭小虎, 库尔班妮萨古丽·奥布力喀斯木, 杨世平, 李泰峰, 王新翠, 朱丽华, 马德英(1038)
- 两种金小蜂类 *icarapin* 蛋白潜在致敏性的初步评价 曹昀珅, 杨义, 方琦, 汪芳, 叶恭银(1049)
- 人工饲料添加花粉对异色瓢虫幼虫生长发育的影响 孙元星, 陈明娟, 李明凌, 秦亚龙, 钟明娟(1058)
- 叉角厉蝽对于不同虫龄茶谷蛾幼虫的捕食功能反应 龚雪娜, 罗梓文, 玉香凡, 曲浩, 王雪松, 龙丽雪, 张东, 梁晓静, 陈林波, 龙亚芹(1066)
- 温度对益蝽的生长发育和种群生命参数的影响 唐艺婷, 王孟卿, 张礼生(1076)
- 全局调控子 *MtrAsbh* 影响米尔贝霉素生物合成的研究 祝亚杰, 王佳彬, 李珊珊, 向文胜, 张艳艳(1083)
- ganA* 在路德维希杆菌杀松材线虫中的功能解析 王浩宇, 张弘弢, 张莹, 赵宇, 王传珍, 张丽霞, 王琦, 吴迪, 于翠芳, 李海勇, 王爽, 牛犇(1094)
- 一株球孢白僵菌的分离鉴定及其对茶丽纹象甲幼虫的室内致病力测定 付楠霞, 罗宗秀, 李兆群, 边磊, 修春丽, 陈宗懋, 蔡晓明(1104)
- 杜鹃属植物内生真菌的分离及对赤拟谷盗和马铃薯腐烂茎线虫的防治作用 王旭东, 李秋月, 王佳丽, 姬颖, 马晓倩, 李媛, 梁俊玉(1113)
- 防治玉米土传病和地下害虫蛴螬复合微生物种衣剂的研制 王江平, 王雅娜, 张飞燕, 殷嘉璐, 刘洪伟, 董尧坤, 刘秋玥, 张丽萍(1124)
- 七种植物精油对苹果全爪螨的生物活性及薄荷精油的 GC-MS 成分分析 张坤, 王凯乐, 张鹏九, 刘中芳, 杨静, 樊建斌, 赵劲宇, 范仁俊, 高越(1133)
- 植物次生代谢物丁布对苜蓿斑蚜的控制作用 潘凡, 朱凯辉, 涂雄兵, 张泽华(1143)
- 褐飞虱 RNAi 显微注射中麻醉方法的比较 张朋稳, 段至柔, 刘常权, 彭英传, 张万娜, 肖海军, 张晶(1148)
- 基于非靶标代谢组学分析拜赖青霉菌株 47M-1 的抑菌活性成分 赵新贝, 倪云霞, 刘新涛, 赵辉, 闫文庆, 何碧珀, 刘红彦(1156)
- 杂交竹基腐病生防真菌及其水分散剂研制与防效 顾小敏, 余嘉雯, 朱天辉, 陈有忠, 刘韩, 李姝江(1172)
- 基于西兰花尾菜为载体的解淀粉芽胞杆菌 PHODG36 颗粒剂研制及其对棉花黄萎病的防治效果 赵卫松, 李社增, 赵明珠, 郭庆港, 鹿秀云, 勾建军, 马平(1186)
- 生防放线菌 ZZ-9 颗粒剂的研制及对黄瓜立枯病的防治效果 张杨, 魏岚菁, 陈军宏, 黑雅妮, 薛应钰(1194)
- 贝莱斯芽胞杆菌 ZJ1 油悬剂的研制及其田间防病促生效果 邹晓璐, 赵雨, 马东丽, 赵晓军, 殷辉, 任璐(1204)
- 无致病力青枯菌 FJAT-aRS01 的固态发酵及对茄果类蔬菜青枯病的防治效果 郑雪芳, 王阶平, 陈燕萍, 车建美, 陈峥, 陈梅春, 刘波(1215)
- 哈茨木霉 BWT1.221 的固态发酵工艺条件优化研究 谢小林, 王勇, 陈猛, 周莲, 李成江, 刘玉敏, 朱红惠(1224)
- 两种芽胞杆菌对苗期土传辣椒疫病的防控作用 祝文慧, 秦溥, 赵岩, 殷辉, 任璐, 周建波(1235)
- 木霉菌协同杀菌剂防治北苍术白绢病的增效作用 贺字典, 韩亚梅, 金歌, 高玉峰, 闵康(1244)
- 西瓜枯萎病生防菌的分离鉴定及其生防潜力研究 许配玲, 韩文心, 王刚, 陈雯, 高鸿珊, 吕明慧, 杨项明, 朱彦泽, 蒋春号(1253)
- 多粘类芽胞杆菌 JE53 对香梨采后黑斑病菌抑制效果及贮藏品质的影响 郝金辉, 林胜楠, 吴梓菲, 王宁, 詹发强, 史应武, 何亚芳, 杨蓉, 侯新强, 包慧芳(1266)
- 封面: 康氏迈蚜小蜂雌蜂形态特征 董志刚(摄)

木霉菌协同杀菌剂防治北苍术白绢病的增效作用

贺字典^{1*}, 韩亚梅¹, 金 歌¹, 高玉峰², 闵 康¹

(1. 河北科技师范学院农学与生物科技学院/河北省作物逆境生物学重点实验室, 秦皇岛 066600; 2. 河北科技师范学院学报编辑部, 秦皇岛 066600)

摘要: 为了提高木霉菌和杀菌剂协同对北苍术白绢病的防治效果, 减少杀菌剂的使用量, 本文采用生长速率法测定了 12 种杀菌剂对齐整小核菌及其拮抗木霉菌株的 EC_{50} , 并采用平板对峙法和协同系数法筛选出与 3 种木霉菌具有生物相容性和增效作用的杀菌剂后, 测定杀菌剂与木霉菌协同对北苍术白绢病的田间防治效果。结果表明: 240 g/L 噻呋酰胺 SC、30%噁霉灵 AS 和 80%代森锰锌 WP 与棘孢木霉 T_{16} 、深绿木霉 T_{15} 和哈茨木霉 T_{11} 间的 VEC_{50} 均大于 1, 具有良好的生物相容性。噻呋酰胺与棘孢木霉和深绿木霉协同对北苍术白绢病的田间防治效果分别达到了 80.76% 和 78.82%, 比噻呋酰胺的防治效果分别增长了 13.36% 和 10.64%。由此可见, 在减少化学杀菌剂使用量时, 棘孢木霉 T_{16} 和深绿木霉 T_{15} 均可与噻呋酰胺协同防治北苍术白绢病且具有增效作用。

关键词: 北苍术白绢病; 棘孢木霉; 深绿木霉; 噻呋酰胺; 协同作用

中图分类号: S476 文献标识码: A 文章编号: 1005-9261(2023)05-1244-09

Synergistic Effect of *Trichoderma* and Fungicides on *Atractylodes chinensis* Southern Blight Caused by *Sclerotium rolfsii*

HE Zidian^{1*}, HAN Yamei¹, JIN Ge¹, GAO Yufeng², MIN Kang¹

(1. Hebei Key Laboratory of Crop Stress Biology/College of Agronomy and Biotechnology, Hebei Normal University of Science & Technology, Qinhuangdao 066000, China; 2. Editorial Department of Journal, Qinhuangdao 066000, China)

Abstract: In order to control effectively southern blight caused by *Sclerotium rolfsii* of *Atractylodes chinensis* as well as reducing the dosage of chemical fungicides, *Trichoderma* strains that can be used in combination with fungicides were screened out. Toxicity of 12 chemical fungicides agents and 7 *Trichoderma* stains against *S. rolfsii* was firstly tested in vitro with toxic medium method. And *Trichoderma asperellum* T_{16} , *Trichoderma atroviride* T_{15} and *Trichoderma harzianum* T_{11} were subsequently shown to exhibit bio-compatibility with fungicides proved by dural culture and synergistic effect method. Control efficacy of the combination on suppressing of southern blight of *A. chinensis* was further tested in field experiment. The results showed that the VEC_{50} between 240 g/L thifluzamide SC, 30% hymexazol AS and 80% mancozeb WP with *T. asperellum* T_{16} , *T. atroviride* T_{15} and *T. harzianum* T_{11} were higher than 1, respectively, which indicated good bio-compatibility. In the reducing half dosage of thifluzamide condition, the synergistic control effect of thifluzamide combined with *T. asperellum* T_{16} and *T. atroviride* T_{15} on southern blight reached 80.76% and 78.82%, respectively, which increased by 13.36% and 10.64% compared with thifluzamide control. In conclusion, *T. asperellum* T_{16} and *T. atroviride* T_{15} could synergize with thifluzamide to control *A. chinensis* southern blight, which was much more effective than applying 100% fungicides.

Key words: *Atractylodes chinensis* southern blight disease; *Trichoderma asperellum*; *Trichoderma atroviride*; thifluzamide; synergistic effect

收稿日期: 2022-11-14

基金项目: 河北省重点研发项目 (21326516D 和 22326501D); 河北省自然科学基金项目 (C2019407103); 秦皇岛市重点研发项目 (201901B022); 河北省研究生创新资助项目 (CXZZ202206)

作者简介: 贺字典, 女, 博士, 教授, E-mail: zidianhe@163.com; *通信作者。

DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2023.02.046

北苍术 *Atractylodes chinensi* 主要分布在海拔 50~2000 m 的燕山山脉,为河北省道地药材之一。河北省北苍术种植区域主要为秦皇岛市青龙满族自治县和承德市隆化、滦平、平泉、宽城、丰宁、围场等县,因在新冠肺炎治疗中发挥了重要作用,到 2025 年,河北省北苍术种植面积要达到 3333 hm²,形成一地供全国的局面。由齐整小核菌 *Sclerotium rolfsii* 侵染北苍术发病后茎基部成烂麻状,仅剩下纤维束,且在根茎表皮上长出白色菌丝和红褐色菌核。该病菌不仅侵染北苍术,还受害花生^[1]、辣椒^[2]、剑豆^[3]、茅苍术^[4]、白术^[5]、铁皮石斛^[6]、太子参^[7]等作物、蔬菜和中药材,白绢病已成为农业生产上一种危害巨大的土传病害。

目前,白绢病的防治仍以化学防治为主,10%苯醚甲环唑水分散粒剂(water dispersible granule, WG)和 10%三唑酮可湿性粉剂(wetting powders, WP)对齐整小核菌菌丝的抑菌率分别为 79.9%和 66.8%^[8]。噻呋酰胺对北苍术白绢病的防治效果为 68.72%^[9]。苯甲·嘧菌酯 1500 倍液对铁皮石斛白绢病的防治效果为 90.27%^[10]。50%异菌脲悬浮剂(suspension concentrate, SC)和 24%噻呋酰胺 SC 对花生白绢病的防治效果分别为 44.6%~68.7%和 66.1%~79.4%^[11]。但齐整小核菌对多菌灵、嘧菌酯、腐霉利和嘧霉胺等多种杀菌剂均已产生了抗药性^[12]。为降低齐整小核菌的抗药性,筛选和应用生防菌防治白绢病已有报道。贝莱斯芽胞杆菌 *Bacillus velezensis* 对齐整小核菌菌丝的抑菌率达到 81.93%,对花生白绢病的田间防治效果为 66.15%^[13]。贝莱斯芽胞杆菌 FJAT-17931 和暹罗芽胞杆菌 *Bacillus siamensis* FJAT-52595 对太子参白绢病菌的抑菌率分别为 73.23%和 71.16%^[7]。哈茨木霉 *Trichoderma harzianum* H₂ 对齐整小核菌菌丝的抑菌率达到 86.27%^[14]。由于生防菌防治效果易受到环境条件、施用方法、杀菌剂等诸多因素的影响,导致防治效果不稳定和速效性差,因此发挥化学杀菌剂与生防菌各自优势,将二者联合应用成为研究热点。

木霉菌与代森锰锌、三唑酮、啶酰菌胺等杀菌剂联合使用不仅对香蕉枯萎病、百合贮存期鳞茎腐烂病、番茄灰霉病等病害防治效果提高了 19.26%~29.29%^[15-17],而且能够协同防治印度橡胶榕和鱼腥草白绢病^[18,19],但木霉菌与杀菌剂协同防治北苍术白绢病的报道很少^[9]。因此为了进一步提高木霉菌与杀菌剂协同对北苍术白绢病防治效果,减少化学杀菌剂用量,本文采用生长速率法、平板对峙法和协同系数法从 12 种杀菌剂中筛选出与 7 种木霉菌具有生物相容性和增效作用的杀菌剂后,测定杀菌剂比对照减少 50%用量时,木霉菌与杀菌剂协同对北苍术白绢病的田间防治效果,以期对北苍术白绢病绿色防治提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

木霉菌株:哈茨木霉 *T. harzianum* T₁₁、长枝木霉 *Trichoderma longibrachiatum* T₁₂、棘孢木霉 *Trichoderma asperellum* T₁₃、绿色木霉 *Trichoderma viride* T₁₄、深绿木霉 *Trichoderma atroviride* T₁₅、棘孢木霉 *Trichoderma asperellum* T₁₆、粘绿木霉 *Trichoderma viren* T₁₇,由河北科技师范学院保存。

病原菌:齐整小核菌 *S. rolfsii*,由河北科技师范学院保存。

杀菌剂:30%噻唑锌 SC,浙江新农化工股份有限公司;80%多菌灵 WP,河北冠龙农化有限公司;80%代森锰锌 WP,利民化工股份有限公司;250 g/L 嘧菌酯 SC,先正达南通作物保护有限公司;30%噁霉灵水剂(aqueous solution, AS),四川国光农化股份有限公司;20%噻菌铜 SC,浙江龙湾化工有限公司;200 g/L 氟酰羟·苯甲唑 SC,瑞士先正达作物保护有限公司;62.5 g/L 精甲·咯菌腈悬浮种衣剂(flowable concentrate for seed coating, FS),先正达南通作物保护有限公司;43%唑醚·氟酰胺 SC,巴斯夫(中国)有限公司;240 g/L 噻呋酰胺 SC,河北三农农用化工有限公司;30%吡唑醚菌酯 SC,华北制药集团爱诺有限公司;450 g/L 咪鲜胺水乳剂(emulsion in water, EW),江苏辉丰生物农业股份有限公司。

1.2 方法

1.2.1 菌株活化 将 4 ℃保存的木霉菌菌株和齐整小核菌分别接种于 PDA 平板上,25 ℃培养至长满培养皿,备用。

1.2.2 菌核的收集 将齐整小核菌菌饼接种于 PDA 平板上,待菌丝表面长出菌核后,用无菌镊子夹取菌

核置于培养皿中,备用。

1.2.3 木霉菌对齐整小核菌菌丝和菌核萌发的抑制作用 待齐整小核菌和木霉菌长满培养皿后,用直径5 mm的打孔器分别在齐整小核菌和木霉菌菌落边缘打取菌饼。将木霉菌与病原菌同时接入PDA平板上。二者相距3 cm,同时设只接种病原菌为对照,3次重复,置于25℃培养箱中黑暗培养3 d后测量病原菌指向木霉菌的菌落半径,计算木霉菌对齐整小核菌菌丝的抑菌率^[7]。抑菌率(%)=(对照菌落直径-处理菌落直径)/(对照菌落直径-菌饼直径)×100。

将长满培养皿的木霉菌,用5 mL无菌水清洗,用血球计数板测定分生孢子浓度达到 1.27×10^8 孢子/mL,吸取1.0 mL孢子悬浮液均匀涂布于PDA培养基表面。待悬浮液被PDA完全吸收后,于每个平板上放置10个菌核,以只接种菌核为对照,3次重复。逐日记录菌核萌发数量和萌发后菌丝菌落直径,计算齐整小核菌菌核萌发率和对萌发菌丝的抑菌率^[20]。菌核萌发率(%)=(萌发菌核数量/菌核总数量)×100。木霉菌对萌发菌丝的抑菌率(%)=(对照菌落直径-处理菌落直径)/对照菌落直径×100。

1.2.4 杀菌剂对齐整小核菌菌丝的毒力作用 采用菌丝生长速率法测定12种杀菌剂对齐整小核菌菌丝的毒力作用。30%吡唑醚菌酯SC、30%噻唑锌SC和30%噁霉灵AS的浓度均为3000、600、120、24和4.80 μg/mL;80%多菌灵WP浓度为1600、320、64、12.8和2.56 μg/mL;80%代森锰锌WP浓度为10000、2000、400、80和16 μg/mL;20%噻菌铜SC的浓度为2000、400、80、16和3.2 μg/mL;250 g/L啞菌酯SC的浓度为1000、200、40、8.0和1.6 μg/mL;200 g/L氟酰胺·苯甲唑SC的浓度为800、160、32、6.4和1.28 μg/mL;62.5 g/L精甲·咯菌腈FS浓度为1250、250、50、10和2 μg/mL;43%唑醚·氟酰胺SC浓度为860、172、34.4、6.88和1.38 μg/mL;240 g/L噻呋酰胺SC浓度为960、192、38.4、7.68和1.54 μg/mL;450 g/L咪鲜胺EW浓度分别为1800、360、72、14.4和2.88 μg/mL。用PDA培养基配制成含系列梯度浓度杀菌剂含药平板,以加无菌水为对照。用直径5 mm的打孔器从培养5 d病原菌的菌落边缘打取菌饼,菌丝面向下接种于含不同浓度杀菌剂平板上,3次重复。25℃黑暗培养3 d后,采用十字交叉法测量菌落直径,计算抑菌率和有效中浓度(effective concentration, EC₅₀)。

1.2.5 杀菌剂和木霉菌生物相容性测定 采用菌丝生长速率法测定12种杀菌剂对3个木霉菌菌株T₁₆、T₁₅、T₁₁的毒力作用。杀菌剂浓度同1.2.4。用PDA培养基配制成含系列梯度浓度的杀菌剂培养基平板,以加无菌水为对照。用直径5 mm的打孔器从培养5 d的新鲜木霉菌菌落边缘打取菌饼,菌丝面向下接种于含不同浓度农药的平板上,3次重复。25℃黑暗培养3 d后,采用十字交叉法测菌落直径,计算抑菌率和EC₅₀。根据杀菌剂对木霉菌菌丝的EC₅₀(TEC₅₀)与该杀菌剂对齐整小核菌的EC₅₀(REC₅₀)比值(VEC₅₀, VEC₅₀=TEC₅₀/REC₅₀)筛选可与木霉菌协同使用的杀菌剂,若VEC₅₀>1,认为该化学杀菌剂可与木霉菌协同使用^[17]。

1.2.6 杀菌剂和木霉菌协同对齐整小核菌菌丝的抑制作用 采用平板对峙法测定与木霉菌相容性好的杀菌剂和木霉菌协同对齐整小核菌菌丝的抑制作用。用无菌水分别将30%噁霉灵AS配制浓度为100.00、75.00、66.70和50.00 μg/mL。80%代森锰锌WP的浓度梯度为0.94、0.71、0.63、0.47 μg/mL。240 g/L噻呋酰胺SC的浓度为24.00、18.00、16.00和12.00 μg/mL。在含药PDA平板上同时接种直径为5 mm木霉菌和齐整小核菌的菌饼,二者间隔3 cm,以只接种齐整小核菌或木霉菌菌饼为对照,3次重复。置于25℃恒温培养箱中黑暗培养3 d,测量二者菌落的相向半径。采用协同系数法^[21]评价木霉菌与化学杀菌剂协同使用是否产生增效作用。协同系数(S)=(病菌对照菌落半径-病菌拮抗菌落半径)/(木霉菌对照菌落半径-木霉菌拮抗菌落半径)×100。S≥1.5,表示木霉菌和杀菌剂具有增效作用;1≤S<1.5,表示木霉菌和杀菌剂具有相加作用;S<1,表示木霉菌和杀菌剂具有拮抗作用。

1.2.7 杀菌剂和木霉菌协同对北苍术白绢病的防治效果 将木霉菌用食用菌玉米粒培养基培养7 d^[22],待长满木霉菌后用蒸馏水洗出后用血球计数板计数,分生孢子数量调整到 1×10^7 孢子/mL,备用。

在秦皇岛市卢龙县燕河营镇旭阳药材种植园测定北苍术白绢病防治效果。该基地种植北苍术面积5.47 hm²,移栽2年生苗,平作,株行距为15 cm×30 cm。该基地前茬种植玉米、白薯、辣椒等农作物,调查该地农田白绢病发生严重,地表20~30 cm深处的菌核数可达 $5 \times 10^5 \sim 1 \times 10^7$ 菌核/m²。

试验小区分别为木霉菌与杀菌剂协同作用、杀菌剂单独应用对照、木霉菌单独应用对照和清水对照,

每个小区长 150 m，宽 3 m，共 19 个处理，3 次重复。协同作用分别为棘孢木霉 T_{16} 与噻唑锌、代森锰锌、噻呋酰胺和噁霉灵；深绿木霉 T_{15} 与代森锰锌、噻呋酰胺和噁霉灵；哈茨木霉 T_{11} 与噻唑锌、代森锰锌、噻呋酰胺和噁霉灵。

杀菌剂协同作用区木霉菌用量为 37.5 L/hm^2 ，对照区为 75.0 L/hm^2 ；30%噁霉灵 AS、30%噻唑锌 SC、80%代森锰锌 WP 和 240 g/L 噻呋酰胺 SC 的用量在协同作用区均为 7.5 kg/hm^2 ，对照区均为 15.0 kg/hm^2 。棘孢木霉 T_{16} 、深绿木霉 T_{15} 和哈茨木霉 T_{11} 采用分生孢子悬浮液，孢子浓度为 1×10^7 孢子/mL。于 2021 年 6 月 2 日先将杀菌剂滴灌到北苍术根际后，再滴施木霉菌孢子悬浮液直到根际土壤湿透，8 月 7 日调查白绢病病情指数，调查时采用 S 形取样法，每个处理选取 10 个点，每个点调查 50 株，根据北苍术白绢病病情指数分级标准^[9]调查发病情况，计算病情指数和防治效果。

北苍术白绢病病情指数分级标准：0 级，无病；1 级，根茎有轻微变褐；3 级，根茎组织变褐；5 级，根茎开始腐烂，腐烂面积占总面积的 30% 以下，并出现少量白色菌丝；7 级，腐烂部分占根茎 30% 以上，地上部植株萎蔫，产生大量菌核；9 级，整株枯死。病情指数= $[\sum(\text{病级数}\times\text{该病级植株数})]/(\text{最大病级数}\times\text{植株总株数})\times 100$ 。防治效果(%)=(对照组病情指数-处理组病情指数)/对照组病情指数 $\times 100$ 。

1.2.8 数据统计与分析 试验数据使用 Excel 2019 和 SPSS 24.0 软件进行统计分析，利用 LSD 法进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 木霉菌对齐整小核菌菌丝和菌核萌发的抑制效果

棘孢木霉 T_{16} 菌株对齐整小核菌菌丝的抑菌率最高，为 87.52%，其次深绿木霉 T_{15} 和哈茨木霉 T_{11} 对齐整小核菌菌丝的抑菌率分别为 79.61%和 77.67%，三者差异并不显著。齐整小核菌菌核在深绿木霉 T_{15} 和棘孢木霉 T_{16} 中萌发率均为 0，对菌核萌发后菌丝的抑菌率达到 100%，显著高于绿色木霉 T_{17} 和哈茨木霉 T_{11} 对菌核萌发后菌丝的抑菌率（表 1，图 1）。



图 1 木霉菌对齐整小核菌菌丝和菌核的抑制作用

Fig. 1 Inhibition effect of *Trichoderma* on mycelium and sclerotium of *S. rolfsii*

2.2 杀菌剂对齐整小核菌和木霉菌的 EC₅₀

通过测定比较 12 种化学杀菌剂对齐整小核菌和木霉菌的 EC₅₀，噻呋酰胺、代森锰锌和噁霉灵与棘孢木霉 T_{16} 、深绿木霉 T_{15} 和哈茨木霉 T_{11} 间的生物相容性好， V_{EC50} 均大于 1；噻唑锌与棘孢木霉 T_{16} 、哈茨木霉 T_{11} 间 V_{EC50} 均大于 1，生物相容性好（表 2）。

表 1 木霉菌对齐整小核菌菌丝和菌核萌发的抑菌率

Table 1 Inhibition rate of *Trichoderma* on mycelia and sclerotinia germination of *S. rolfsii*

木霉菌株编号 <i>Trichoderma</i> number	菌落半径 Colony radius (cm)	抑菌率 Inhibition rate (%)	菌核萌发率 Sclerotinia germination rate (%)	萌发菌丝抑菌率 Inhibition rate of sclerotinia germination mycelia (%)
T ₁₁	0.48±0.11	77.67±4.92 ab	13.33±0.58	79.26±9.12 bc
T ₁₂	1.40±0.26	34.73±12.13 c	26.67±0.58	70.73±11.90 bc
T ₁₃	0.70±0.08	67.36±3.76 b	13.33±1.15	67.07±14.36 c
T ₁₄	0.72±0.02	66.59±1.07 b	16.67±1.15	71.95±19.53 bc
T ₁₅	0.44±0.08	79.61±3.55 ab	0.00±0.00	100.00±0.00 a
T ₁	0.27±0.12	87.52±5.51 a	0.00±0.00	100.00±0.00 a
T ₁₇	0.59±0.25	72.48±11.83 b	13.33±0.58	81.71±22.26 b
CK	1.28±0.15		100.00±0.00	

注：同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)，下同。

Note: Data with different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$). The same as below.

表 2 化学杀菌剂与木霉菌的生物相容性

Table 2 Bio-compatibility between chemical fungicides and *Trichoderma*

杀菌剂 Fungicides	供试菌株 Strains	毒力回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient	EC ₅₀ (μg/mL)	V _{EC50}
30%噻唑锌 SC	棘孢木霉 T ₁₆	$Y=0.8556x+2.6572$	0.9554	549.54	>1
30% zinethiozole SC	深绿木霉 T ₁₅	$Y=3.6016x-0.4550$	0.9978	32.70	<1
	哈茨木霉 T ₁	$Y=0.5712x+3.8897$	0.9902	128.82	>1
	齐整小核菌	$Y=0.8405x+3.6392$	0.9517	41.59	
80%多菌灵 WP	棘孢木霉 T ₁₆	$Y=1.5008x+3.7263$	0.9713	7.06	<1
80% carbendazim WP	深绿木霉 T ₁₅	$Y=1.2411x+4.2103$	0.9714	4.33	<1
	哈茨木霉 T ₁₁	$Y=-5.9770x+14.424$	0.6990	37.73	<1
	齐整小核菌	$Y=0.9064x+3.4996$	0.6127	45.22	
80%代森锰锌 WP	棘孢木霉 T ₁₆	$Y=0.6225x+2.4578$	0.9387	12129.85	>1
80% mancozeb WP	深绿木霉 T ₁₅	$Y=0.7889x+2.6386$	0.9744	984.65	>1
	哈茨木霉 T ₁₁	$Y=0.4919x+3.1361$	0.9201	6154.39	>1
	齐整小核菌	$Y=0.0736x+3.3954$	0.9913	129.22	
250 g/L 啉菌酯 SC	棘孢木霉 T ₁₆	$Y=0.8760x+3.2737$	0.9518	93.47	>1
250 g/L azoxystrobin SC	深绿木霉 T ₁₅	$Y=0.8378x+3.5445$	0.9168	54.61	<1
	哈茨木霉 T ₁	$Y=1.0023x+3.3648$	0.9825	42.80	<1
	齐整小核菌	$Y=0.3269x+3.4972$	0.9567	44.75	
30%噁霉灵 AS	棘孢木霉 T ₁₆	$Y=0.8765x+2.5201$	0.9734	679.56	>1
30% hymexazol AS	深绿木霉 T ₁₅	$Y=0.9731x+2.5269$	0.9877	347.91	>1
	哈茨木霉 T ₁	$Y=0.9067x+2.4628$	0.9775	628.46	>1
	齐整小核菌	$Y=0.7831x+3.3127$	0.9577	142.76	
20%噻菌铜 SC	棘孢木霉 T ₁₆	$Y=0.8408x+3.8459$	0.9705	23.58	<1
20% thiodiazole copper SC	深绿木霉 T ₁₅	$Y=1.1570x+3.2423$	0.9328	33.05	<1
	哈茨木霉 T ₁	$Y=1.0499x+3.7564$	0.9909	15.29	<1
	齐整小核菌	$Y=0.4835x+3.9388$	0.9904	156.61	

续表 2 Continued table 2

杀菌剂 Fungicides	供试菌株 Strains	毒力回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient	EC ₅₀ (μg/mL)	V _{EC50}
200 g/L 氟唑羟·苯甲唑 SC 200 g/L pydiflumetofen· difenoconazole SC	棘孢木霉 T ₁₆	Y=1.1893x+3.7366	0.9639	11.54	<1
	深绿木霉 T ₁₅	Y=1.2479x+3.4223	0.9702	18.38	<1
	哈茨木霉 T ₁₁	Y=1.0487x+3.5308	0.9881	25.18	<1
	齐整小核菌	Y=0.4752x+3.7829	0.9885	364.11	
62.5 g/L 精甲·咯菌腈 FS 62.5 g/L metalaxyl- M·fludioxonil FS	棘孢木霉 T ₁₆	Y=1.4967x+3.6034	0.9065	8.57	<1
	深绿木霉 T ₁₅	Y=1.2545x+3.7391	0.9898	10.12	<1
	哈茨木霉 T ₁₁	Y=0.7733x+4.5277	0.9796	4.08	<1
	齐整小核菌	Y=0.8501x+3.2497	0.9416	114.53	
43%唑醚·氟酰胺 SC 43% fluxapyroxad· pyraclostrobin SC	棘孢木霉 T ₁₆	Y=1.3524x+2.7261	0.9958	48.02	<1
	深绿木霉 T ₁₅	Y=1.4204x+2.4565	0.9973	61.76	<1
	哈茨木霉 T ₁₁	Y=1.2163x+2.6120	0.9900	91.90	=1
	齐整小核菌	Y=1.1706x+2.7062	0.8281	91.09	
240 g/L 噻呋酰胺 SC 240 g/L thifluzamide SC	棘孢木霉 T ₁₆	Y=1.2753x+2.8343	0.9655	49.54	>1
	深绿木霉 T ₁₅	Y=1.0572x+3.1341	0.8804	58.20	>1
	哈茨木霉 T ₁₁	Y=0.7591x+3.8987	0.9726	28.24	>1
	齐整小核菌	Y=0.4866x+5.2317	0.9737	0.33	
30%吡唑醚菌酯 SC 30% fluxapyroxad SC	棘孢木霉 T ₁₆	Y=1.1087x+3.6538	0.9679	16.38	<1
	深绿木霉 T ₁₅	Y=0.9617x+3.9401	0.9396	12.65	<1
	哈茨木霉 T ₁₁	Y=0.9034x+3.4817	0.9890	47.93	<1
	齐整小核菌	Y=0.5119x+3.5172	0.9532	788.24	<1
450 g/L 咪鲜胺 EW 450 g/L prochloraz EW	棘孢木霉 T ₁₆	Y=1.9669x+2.4190	0.9932	20.52	<1
	深绿木霉 T ₁₅	Y=1.3372x+3.3606	0.9794	16.83	<1
	哈茨木霉 T ₁₁	Y=1.7106x+2.5974	0.9527	25.38	<1
	齐整小核菌	Y=1.0265x+3.3985	0.9486	136.32	

2.3 化学杀菌剂与木霉菌协同对齐整小核菌的抑制作用

2.3.1 杀菌剂与木霉菌协同增效作用 棘孢木霉 T₁₆、深绿木霉 T₁₅ 和哈茨木霉 T₁₁ 与噁霉灵、噻呋酰胺和代森锰锌协同应用后对齐整小核菌菌丝的抑菌率均达到 100%。噁霉灵、噻呋酰胺与 3 种木霉菌间的协同系数均大于 1，表现出增效作用。代森锰锌、噻唑锌与棘孢木霉 T₁₆、哈茨木霉 T₁₁ 的协同系数均大于 1，表现出增效作用（表 3）。

2.3.2 木霉菌与杀菌剂协同对北苍术白绢病田间防治效果 噻呋酰胺与棘孢木霉 T₁₆、深绿木霉 T₁₅ 协同防治北苍术白绢病的效果分别达到 80.76%和 78.82%，与噻呋酰胺对照相比，虽然防治效果差异未达到显著水平，但防治效果分别增长了 13.36%和 10.64%；与 2 种木霉菌对照的防治效果分别增长了 33.47%和 77.88%，均显著高于各木霉菌对照处理。同样，与代森锰锌对照相比，代森锰锌与棘孢木霉 T₁₆、深绿木霉 T₁₅ 和哈茨木霉 T₁₁ 协同防治效果差异并不显著，但防治效果分别增加了 37.12%、30.15%和 15.38%（表 4）。

表 3 杀菌剂与木霉菌对齐整小核菌菌丝的协同增效作用

Table 3 Synergism between *Trichoderma* and fungicides to inhibit *Sclerotium rolfsii* mycelium

杀菌剂 Fungicides	浓度 Concentration ($\mu\text{g/mL}$)	深绿木霉 <i>T. atroviride</i> T ₁₅		棘孢木霉 <i>T. asperellum</i> T ₁₆		哈茨木霉 <i>T. harzianum</i> T ₁₁	
		抑菌率	协同系数	抑菌率	协同系数	抑菌率	协同系数
		Antibacterial rate (%)	Synergy Coefficient (S)	Antibacterial rate (%)	Synergy coefficient (S)	Antibacterial rate (%)	Synergy coefficient (S)
30%噁霉灵 AS	100.00	100.00 $\pm$ 0.00 a	1.76	100.00 $\pm$ 0.00 a	4.34	100.00 $\pm$ 0.00 a	2.74
30% hymexazol AS	75.00	100.00 $\pm$ 0.00 a	1.76	100.00 $\pm$ 0.00 a	4.26	100.00 $\pm$ 0.00 a	2.74
	66.67	100.00 $\pm$ 0.00 a	1.76	100.00 $\pm$ 0.00 a	4.18	100.00 $\pm$ 0.00 a	2.74
	50.00	100.00 $\pm$ 0.00 a	1.76	100.00 $\pm$ 0.00 a	1.41	100.00 $\pm$ 0.00 a	2.74
	24.00	100.00 $\pm$ 0.00 a	1.76	100.00 $\pm$ 0.00 a	4.93	100.00 $\pm$ 0.00 a	2.74
240 g/L 噁唑酰胺 SC	24.00	100.00 $\pm$ 0.00 a	1.76	100.00 $\pm$ 0.00 a	4.93	100.00 $\pm$ 0.00 a	2.74
240 g/L thifluzamide SC	18.00	100.00 $\pm$ 0.00 a	1.76	100.00 $\pm$ 0.00 a	4.93	100.00 $\pm$ 0.00 a	2.74
	16.00	100.00 $\pm$ 0.00 a	1.76	100.00 $\pm$ 0.00 a	4.93	100.00 $\pm$ 0.00 a	2.74
	12.00	100.00 $\pm$ 0.00 a	1.76	100.00 $\pm$ 0.00 a	4.93	100.00 $\pm$ 0.00 a	2.74
	0.94	100.00 $\pm$ 0.00 a	1.63	100.00 $\pm$ 0.00 a	2.93	100.00 $\pm$ 0.00 a	2.74
80%代森锰锌 WP	0.94	100.00 $\pm$ 0.00 a	1.63	100.00 $\pm$ 0.00 a	2.93	100.00 $\pm$ 0.00 a	2.74
80% mancozeb WP	0.71	100.00 $\pm$ 0.00 a	1.54	100.00 $\pm$ 0.00 a	2.93	100.00 $\pm$ 0.00 a	2.74
	0.63	100.00 $\pm$ 0.00 a	1.00	100.00 $\pm$ 0.00 a	2.53	100.00 $\pm$ 0.00 a	1.58
	0.47	100.00 $\pm$ 0.00 a	0.89	100.00 $\pm$ 0.00 a	2.49	100.00 $\pm$ 0.00 a	1.32
	0.47	100.00 $\pm$ 0.00 a	0.89	100.00 $\pm$ 0.00 a	2.49	100.00 $\pm$ 0.00 a	1.32
30%噁唑锌 SC	375.00	73.75 $\pm$ 0.79 a	0.79	85.19 $\pm$ 0.74 a	2.29	100.00 $\pm$ 0.00 a	2.08
30% zinctiozole SC	281.28	63.79 $\pm$ 0.71 b	0.82	72.26 $\pm$ 0.51 b	1.85	100.00 $\pm$ 0.00 a	1.94
	250.00	61.89 $\pm$ 0.29 c	0.74	70.45 $\pm$ 1.11 c	1.80	100.00 $\pm$ 0.00 a	1.90
	187.50	59.26 $\pm$ 0.49 d	0.78	68.72 $\pm$ 0.38 d	1.76	100.00 $\pm$ 0.00 a	1.32

表 4 木霉菌和杀菌剂协同对北苍术白绢病的田间防治效果

Table 4 Synergistic control effect of *Trichoderma* and fungicide on sclerotium blight of *A. rhizome* in the field

杀菌剂 Fungicides	施用量 Dose (kg/hm ²)	协同 Synergism	病情指数 Disease index	防治效果 Control effect (%)
80%代森锰锌 WP	15	棘孢木霉 T ₁₆	18.78 $\pm$ 5.76 c	58.03 $\pm$ 12.80 bc
80% mancozeb WP		深绿木霉 T ₁₅	20.10 $\pm$ 7.81 c	55.08 $\pm$ 10.76 bc
		哈茨木霉 T ₁₁	22.90 $\pm$ 6.36 bc	48.83 $\pm$ 4.56 c
30%噁霉灵 AS	15	棘孢木霉 T ₁₆	12.87 $\pm$ 5.94 d	71.24 $\pm$ 8.03 ab
30% hymexazol AS		深绿木霉 T ₁₅	15.44 $\pm$ 6.17 cd	65.49 $\pm$ 3.90 b
		哈茨木霉 T ₁₁	15.90 $\pm$ 3.06 cd	64.46 $\pm$ 12.00 b
240 g/L 噁唑酰胺 SC	15	棘孢木霉 T ₁₆	8.61 $\pm$ 5.42 e	80.76 $\pm$ 9.33 a
240 g/L thifluzamide SC		深绿木霉 T ₁₅	9.48 $\pm$ 5.06 e	78.82 $\pm$ 12.76 a
		哈茨木霉 T ₁₁	14.69 $\pm$ 8.33 cd	67.17 $\pm$ 9.11 b
30%噁唑锌 SC	15	棘孢木霉 T ₁₆	17.35 $\pm$ 6.49c	61.23 $\pm$ 10.67b
30% zinctiozole SC		哈茨木霉 T ₁₁	20.56 $\pm$ 5.21c	54.05 $\pm$ 6.39bc
木霉菌对照 <i>Trichoderma</i> CK		棘孢木霉 T ₁₆	17.67 $\pm$ 6.44 c	60.51 $\pm$ 9.67 b
		深绿木霉 T ₁₅	24.92 $\pm$ 10.37 bc	44.31 $\pm$ 7.11 c
		哈茨木霉 T ₁₁	29.78 $\pm$ 6.90 b	33.45 $\pm$ 8.03 d
代森锰锌对照 Mancozeb CK	30		25.81 $\pm$ 9.67 bc	42.32 $\pm$ 7.33 c
噁霉灵对照 hymexazol CK	30		14.78 $\pm$ 5.43 c	66.97 $\pm$ 7.98 b
噁唑酰胺对照 thifluzamide CK	30		12.79 $\pm$ 7.03 d	71.42 $\pm$ 3.98 ab
噁唑锌对照 zinctiozole CK	30		28.33 $\pm$ 2.67 b	36.69 $\pm$ 5.02 d
清水对照 Water CK			44.75 $\pm$ 12.33 a	

3 讨论

木霉菌的种类、孢子类型等均会影响木霉菌与杀菌剂的协同应用效果。TRS060186 对多菌灵的耐药性比哈茨木霉 TRW079634 强^[23]。哈茨木霉可以与五氯硝基苯协同使用,不能与多菌灵协同使用;长枝木霉可以与甲霜灵协同使用,不能与戊唑醇协同使用^[24]。本文从 7 种木霉菌中筛选出了 3 种可以与噻呋酰胺、代森锰锌和噁霉灵均具有相容性的棘孢木霉、深绿木霉和哈茨木霉,可以进一步研究菌药协同对根腐病、立枯病、猝倒病等病害的防治效果。

同样,杀菌剂的类型也会影响二者的协同应用效果。己唑醇、丙环唑和氟菌唑对哈茨木霉的毒性依次降低^[25]。广谱性杀菌剂如多菌灵、戊唑醇、苯醚甲环唑对哈茨木霉 610 的抑制作用比长枝木霉 758 弱^[24]。专化性杀菌剂如氰烯菌脂、啶酰菌胺不仅与 3 种木霉菌相容性好,联合应用还提高了对水稻恶苗病菌 *Fusarium fujikuroi* 的抑菌率^[26]。同样啞菌酯和噻唑锌也能与绿色木霉、长枝木霉和哈茨木霉联合抑制水稻纹枯病菌 *Rhizoctonia solani*, 协同系数达到 2.47、3.00 和 1.85^[17]。双炔酰菌胺分别与棘孢木霉 Thz01 和深绿木霉 TZ1105 混用后对减少了双炔酰菌胺用量达到 25%~35%^[27]。啶氧菌酯与哈茨木霉联合对齐整小核菌菌丝的抑菌率为 92.11%,显著高于啶氧菌酯对照^[18]。哈茨木霉 SH2303 和苯甲·丙环唑协同应用后显著降低了玉米小斑病的病斑面积^[28]。本试验木霉菌株的防治效果也受到杀菌剂的影响,12 种杀菌剂中代森锰锌与棘孢木霉 T₁₆、深绿木霉 T₁₅ 和哈茨木霉 T₁₁ 均具有协同增效作用。噻呋酰胺与棘孢木霉 T₁₆ 和深绿木霉 T₁₅ 具有增效作用。噁霉灵只与棘孢木霉 T₁₆ 具有增效作用,但不同杀菌剂与同一种木霉菌间协同防治效果增长率却各不相同。

此外,木霉菌与杀菌剂在田间的协同防治效果也会受到作物种类、施用方法、土壤营养、微生物多样性、连作年限、病原菌数量等诸多因素的影响,因此为提高木霉菌与噻呋酰胺对北苍术白绢病的防治效果,还需要进一步研究这些因素对木霉菌与噻呋酰胺联合增效作用的影响。

参考文献

- [1] 李敏,李爽,张忠信,等. 河南省花生白绢病菌群体多样性及对萎锈灵敏感性研究[J]. 河南农业科学, 2021, 50(5): 64-73.
- [2] 潘宝贵,刘卹洲,王述彬,等. 辣椒白绢病原菌的分离与鉴定[J]. 辣椒杂志, 2016, 14(2): 31-33.
- [3] Kwon J, Kang D W, Lee Y, et al. First report of sclerotium rot in sword bean caused by *Athelia rolfsii*[J]. Australasian Plant Disease Notes, 2022, 17(22): 1-3.
- [4] 刘佳,罗汉钢,郑莉,等. 苍术白绢病病原菌生物学特性初步研究[J]. 湖北农业科学, 2007(2): 241-243.
- [5] 李小霞,肖仲久,李黛,等. 白术白绢病原菌的分子鉴定[J]. 贵州农业科学, 2011, 39(12): 126-128.
- [6] 席刚俊,杨鹤同,赵楠,等. 中国铁皮石斛白绢病的研究[J]. 西部林业科学, 2017, 46(3): 89-95.
- [7] 陈燕萍,肖荣凤,金国,等. 太子参白绢病病原菌的分离鉴定及生防菌筛选[J]. 福建农业学报, 2021, 36(10): 1203-1209.
- [8] 黄俊斌,赵雪坤,李建洪,等. 苍术白绢病发生规律与防治方法的初步研究[J]. 湖北农业科学, 2003(3): 70-71.
- [9] 李婧婷. 木霉菌和杀菌剂协同防治北苍术根腐病和白绢病研究[D]. 秦皇岛: 河北科技师范学院, 2022.
- [10] 梁君,张科立,张珂莹,等. 铁皮石斛白绢病防治药剂筛选试验[J]. 浙江农业科学, 2015, 56(6): 839-842.
- [11] 陈正州. 异菌脉和噻呋酰胺对花生白绢病的田间防效[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(22): 130-131, 137.
- [12] 卫梦迪. 苍术主要病害的病原物鉴定及其药敏性[D]. 南京: 南京农业大学, 2020.
- [13] 潘梦诗,郭文阳,张宗源,等. 贝莱斯芽孢杆菌对花生白绢病的防治效果[J]. 生物学杂志, 2022, 39(1): 37-41.
- [14] 刘威,蓝祖裁,叶云峰,等. 药水苏白绢病原菌鉴定及其生防木霉菌株筛选[J]. 北方园艺, 2013(5): 125-128.
- [15] 姜玉玲,梁巧兰,魏列新,等. 几种生物农药及其混配剂对兰州百合贮存期鳞茎腐烂病防治作用[J]. 中国生物防治学报, 2021, 37(5): 1041-1049.
- [16] Gonzalez M. F, Magdama F, Galarza L, et al. Evaluation of the sensitivity and synergistic effect of *Trichoderma reesei* and mancozeb to inhibit under in vitro conditions the growth of *Fusarium oxysporum*[J]. Communicative Integrative Biology, 2020, 13(1): 160-169.
- [17] 张亚玲,唐雪婷,王兵,等. 木霉菌与杀菌剂联合使用对水稻纹枯病菌的抑制效果[J]. 河南农业科学, 2021, 50(9): 96-104.

- [18] 何俊煊, 吴卓慧, 程东美. 木霉和杀菌剂联用对橡胶格白绢病菌的抑制作用[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(3): 312-316.
- [19] 伍贤进, 牛友芽, 周焜, 等. 化学抗菌剂对哈茨木霉防治鱼腥草白绢病的协同作用[J]. 怀化学院学报, 2014, 33(11): 1-5,10.
- [20] 李玉龙. 生防菌对两种作物病害的防治作用及机理[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [21] 马志强, 牛芳胜, 毕秋艳. 一种评价哈茨木霉菌与化学农药联合增效作用的方法[J]. 农药, 2013, 52(12): 921-923.
- [22] 贺字典, 高增贵, 侯东军. 食用菌木霉种类及棉籽皮菌糠上木霉产孢量研究[J]. 江苏农业科学, 2010(3): 441-443.
- [23] 贺字典, 高玉峰, 吴贺平, 等. 保护地蔬菜土壤中木霉菌种群影响因素[J]. 西北农业学报, 2011, 20(6): 147-154.
- [24] Zhang L, Jiang X L, Yang X Y, *et al.* Inhibition of chlamydospore germination and mycelial growth of *Trichoderma* spp. by chemical fungicides[J]. *Agricultural Science & Technology*, 2015(7): 1494-1499.
- [25] Soumik S, pradeepa N, Ajay D, *et al.* The in vitro effect of certain fungicides, insecticides, and biopesticides on mycelial growth in the biocontrol fungus *Trichoderma harzianum*[J]. *Turkish Journal of Biology*, 2010, 34(4): 399-403.
- [26] 王兵. 木霉菌和杀菌剂联合应用对水稻主要病害病原菌的作用[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2019.
- [27] 张艳丽. 木霉制剂和杀菌剂协同控制辣椒疫病的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
- [28] Wang S Q, Ma J, Wang M, *et al.* Combined application of *Trichoderma harzianum* SH2303 and difenoconazole-propiconazolein controlling Southern corn leaf blight disease caused by *Cochliobolus heterostrophus* in maize[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2019, 18(9): 2063-2071.

(责任编辑: 吕平香)

CONTENTS

·RESEARCH REPORTS·

- Identification of Parasitic Wasp Species of *Nipaecoccus vastator* (Maskell) DONG Zhigang, HE Yanhuai, LUO Ye, HUANG Jian, WANG Zhuohong (1001)
- Effects of Cold Storage on the Fitness of *Anagrus nilaparvatae* Pang and Wang (Hymenoptera: Mymaridae) ZHANG Junian, LIAN Ling, WU Chunzhu, DONG Meng, SHI Longqing, XIE Zhenxing, JIANG ZhaoWei, ZHAN Zhixiong (1015)
- Effects of Short-term Low Temperature Stress on Survival, Development and Reproduction of the *Coccophagus japonicus* Compere YANG Meijuan, CHEN Junyu, YE Zhengpei, FU Yueguan, WANG Jianyun, ZHU Junhong, ZHANG Fangping (1029)
- Effects of Trap Crops in Cotton Field on the Population Dynamics of *Aphis gossypii* and Predatory Natural Enemies PENG Jiamin, PATIMA Wumuerhan, GUO Xiaohu, Kurbanisaguli OBLIKASM, YANG Shiping, LI Taifeng, WANG Xincui, ZHU Lihua, MA Deying (1038)
- Evaluation of the Potential Allergenicity of Icarapin-like Proteins of Two Pteromalid Wasps CAO Yunshen, YANG Yi, FANG Qi, WANG Fang, YE Gongyin (1049)
- Effects of Pollen-added Artificial Diets on the Development of *Harmonia axyridis* Larvae SUN Yuanxing, CHEN Mingjuan, LI Mingling, QIN Yalong, ZHONG Mingjuan (1058)
- Functional Response of *Eocanthecona furcellata* (Hemiptera: Pentatomidae) to Different Instars of *Agriophara rhombata* Meyr. GONG Xuena, LUO Ziwen, YU Xiangshuai, QU Hao, WANG Xuesong, LONG Lixue, ZHANG Dong, LIANG Xiaojing, CHEN Linbo, LONG Yaqin (1066)
- Development and Population Parameters of *Picromerus lewisi* Scott (Hemiptera: Pentatomidae) at Different Temperatures TANG Yiting, WANG Mengqing, ZHANG Lisheng (1076)
- Effect of the Global Regulator MtrAsbh on the Biosynthesis of Milbemycins ZHU Yajie, WANG Jiabin, LI Shanshan, XIANG Wensheng, ZHANG Yanyan (1083)
- Functional Analysis of *ganA* in the Nematocidal of *Enterobacter ludwigii* against *Bursaphelenchus xylophilus* ... WANG Haoyu, ZHANG Hongtao, ZHANG Ying, ZHAO Yu, WANG Chuanzhen, ZHANG Lixia, WANG Qi, WU Di, YU Cuifang, LI Haiyong, WANG Shuang, NIU Ben (1094)
- Isolation, Identification, and Pathogenicity of a *Beauveria bassiana* Strain Isolated from Tea Weevils *Myloccerinus aurolineatus* Larvae FU Nanxia, LUO Zongxiu, LI Zhaoqun, BIAN Lei, XIU Chunli, CHEN Zongmao, CAI Xiaoming (1104)
- Isolation of Endophytic Fungi in Rhododendron and Its Control against *Tribolium castaneum* and *Ditylenchus destructor* WANG Xudong, LI Qiuyue, WANG Jiali, JI Ying, MA Xiaoqian, LI Yuan, LIANG Junyu (1113)
- Development of Compound Microbial Seed Coating Agent for the Control of Soil-borne Diseases and Underground Pest *Protaetia brevitarsis* in Maize Fields WANG Jiangping, WANG Yana, ZHANG Feiyan, YIN Jialu, LIU Hongwei, DONG Yaokun, LIU Qiuyue, ZHANG Liping (1124)
- Biological Activities of Seven Plant Essential Oils against *Panonychus ulmi* and GC-MS Analysis of Peppermint Essential Oil Components ZHANG Kun, WANG Kaile, ZHANG Pengjiu, LIU Zhongfang, YANG Jing, FAN Jianbin, ZHAO Jinyu, FAN Renjun, GAO Yue (1133)
- Effects of Plant Secondary Metabolite DIMBOA on *Therioaphis trifolii* Monel (Homoptera: Aphididae) PAN Fan, ZHU Kaihui, TU Xiongbing, ZHANG Zehua (1143)
- Comparison of Anesthesia Methods in RNAi Microinjection of Brown Planthopper ZHANG Pengwen, DUAN Zhirou, LIU Changquan, PENG Yinchuan, ZHANG Wana, XIAO Haijun, ZHANG Jing (1148)
- Analysis of Inhibitory Active Substances of *Penicillium bilaiae* Strain 47M-1 Based on Non-Targeted Metabolomics ZHAO Xinbei, NI Yunxia, LIU Xintao, ZHAO Hui, YAN Wenqing, HE Bipo, LIU Hongyan (1156)
- Biocontrol Fungus against Base Rot of *Bambusa pervariabilis*×*Dendrocalamopsis grandis* and Its Preparation and Effect of Water-Dispersing Granule GU Xiaomin, YU Jiawen, ZHU Tianhui, CHEN Youzhong, LIU Han, LI Shuijiang (1172)
- Preparation of *Bacillus amyloliquefaciens* PHODG36 Granules Based on Broccoli Residues as Carrier and Its Control Effect on Cotton Verticillium Wilt ZHAO Weisong, LI Shezeng, ZHAO Mingzhu, GUO Qinggang, LU Xiuyun, GOU Jianjun, MA Ping (1186)
- Research of Biocontrol Actinomycete ZZ-9 Granules and Its effect on Cucumber Rhizoctonia rot ZHANG Yang, WEI Lanjing, CHEN Junhong, HEI Yaya, XUE Yingyu (1194)
- Preparation of Biocontrol Agent for *Bacillus velezensis* ZJ1 Oil Suspension and Their Plant Growth-promoting and Biocontrol Properties in Field ... ZOU Xiaolu, ZHAO Yu, MA Dongli, ZHAO Xiaojun, YIN hui, REN Lu (1204)
- Solid-State Fermentation of Avirulent *Ralstonia solanacearum* FJAT-aRS01 and Its Control Effect against Bacterial Wilt of Solanaceous Vegetables ZHENG Xuefang, WANG Jieping, CHEN Yanping, CHE Jianmei, CHEN Zheng, CHEN Meichun, LIU Bo (1215)
- Optimization of Solid State Fermentation Conditions for *Trichoderma harzianum* BWT1.221 XIE Xiaolin, WANG Yong, CHEN Meng, ZHOU Lian, LI Chengjiang, LIU Yumin, ZHU Honghui (1224)
- Prevention and Control Effect of Two *Bacillus* Strains on Soil-borne *Phytophthora capsici* in Seedling Stage ZHU Wenhui, QIN Pu, ZHAO Yan, YIN Hui, REN Lu, ZHOU Jianbo (1235)
- Synergistic Effect of *Trichoderma* and Fungicides on *Atractylodes chinensis* Southern Blight Caused by *Sclerotium rolfsii* HE Zidian, HAN Yamei, JIN Ge, GAO Yufeng, MIN Kang (1244)
- The Study on Screening, Identification and Its Potential Application of Biocontrol Agents against *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* XU Peiling, HAN Wenxin, WANG Gang, CHEN Wen, GAO Hongshan, LÜ Minghui, YANG Xiangming, ZHU Yanze, JIANG Chunhao (1253)
- Effect of *Paenibacillus polymyxa* JE53 on Korla Pear Black Spot Pathogen and Fruit Quality during Storage HAO Jinhui, LIN Shengnan, WU Zifei, WANG Ning, ZHAN Faqiang, SHI Yingwu, HE Yafang, YANG Rong, HOU Xinqiang, BAO Huifang (1266)