

## ·资源与鉴定·

40%丙硫菌唑-戊唑醇悬浮剂用于治理  
人参黑斑病菌抗药性的潜力评价于慧<sup>1</sup>, 周礼林<sup>1</sup>, 陈晓林<sup>2</sup>, 张恺新<sup>2</sup>, 邵帅<sup>1</sup>, 蒋明恩<sup>1</sup>, 郭舒柳<sup>1</sup>, 陈长卿<sup>1</sup>,  
卢宝慧<sup>1</sup>, 赫荣琳<sup>1\*</sup>, 高洁<sup>1,3\*</sup>

- (1. 吉林农业大学 植物保护学院, 吉林 长春 130118;
2. 吉林省参茸办公室 (吉林省中药材产业发展中心), 吉林 长春 130033;
3. 人参育种与应用国家和地方联合工程研究中心, 吉林 长春 130118)

[摘要] 为了评价40%丙硫菌唑-戊唑醇悬浮剂(SC)对人参黑斑病的防治效果,以期为人参黑斑病菌抗药性的治理奠定基础,该文在测定其对3种人参黑斑病菌 *Alternaria alternata*, *A. panax*, *A. tenuissima* 的抑菌活性和对 *A. alternata* 生化活性的基础上,测定了离体条件下其对人参黑斑病的保护和治疗作用,通过1年3地的田间试验评价其对人参黑斑病的田间防治效果,采用Spearman相关性分析进一步评价其与防治人参黑斑病常用的8种杀菌剂的交互抗性。结果表明丙硫菌唑-戊唑醇对3种人参黑斑病的菌丝生长和孢子萌发均有较好的抑制作用,且对菌丝生长的抑制作用要好于孢子萌发;0.1、1.0、10.0  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  的丙硫菌唑-戊唑醇可导致 *A. alternata* 菌丝畸形、分生孢子萌发管变短, DNA 和可溶性蛋白含量减少,细胞膜的通透性下降;离体条件下,50~150  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  的40%丙硫菌唑-戊唑醇 SC 对人参黑斑病的保护和治疗效果分别为65.45%~100.00%和65.58%~96.36%,明显优于相同浓度的戊唑醇且差异有统计学意义。丙硫菌唑-戊唑醇与在人参上常用于防治黑斑病且已对黑斑病菌产生抗药性的杀菌剂苯醚甲环唑、丙环唑、戊唑醇、异菌脲、吡唑醚菌酯、啶菌酯、醚菌酯和代森锰锌之间无交互抗性;1年3地的田间试验结果表明40%丙硫菌唑-戊唑醇 SC 末次施药后7、15、30 d 对人参黑斑病的防治效果明显高于苯醚甲环唑、丙环唑、戊唑醇、异菌脲,且持效期较长。总之,40%丙硫菌唑-戊唑醇 SC 对人参黑斑病菌有较高的抑菌活性和生化活性,田间防治效果明显优于已经产生抗性的常用防治黑斑病杀菌剂且与之无交互抗性,可以用于治理黑斑病菌的抗药性。

[关键词] 链格孢; 丙硫菌唑-戊唑醇; 抑菌活性; 生化活性; 交互抗性; 田间防效; 人参

**Potential evaluation of 40% prothioconazole-tebuconazole suspension concentrate for resistance management of *Alternaria* spp. causing *Alternaria* leaf spot of ginseng**YU Hui<sup>1</sup>, ZHOU Li-lin<sup>1</sup>, CHEN Xiao-lin<sup>2</sup>, ZHANG Kai-xin<sup>2</sup>, SHAO Shuai<sup>1</sup>, JIANG Ming-en<sup>1</sup>, GUO Shu-liu<sup>1</sup>,  
CHEN Chang-qing<sup>1</sup>, LU Bao-hui<sup>1</sup>, HE Rong-lin<sup>1\*</sup>, GAO Jie<sup>1,3\*</sup>

- (1. College of Plant Protection, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 2. Jilin Provincial Ginseng and Deer Antler Office (Jilin Provincial Traditional Chinese Medicine Industry Development Center), Changchun 130033, China; 3. State-Local Joint Engineering Research Center of Ginseng Breeding and Application, Changchun 130118, China)

[Abstract] Forty percent prothioconazole-tebuconazole suspension concentrate (SC) has been registered to control multiple crop diseases in China. This study aims to evaluate its efficacy for the control of *Alternaria* leaf spot of ginseng, so as to lay the foundation

[收稿日期] 2024-12-18

[基金项目] 吉林省科技发展计划项目(20220202110NC); 国家中药材产业技术体系项目(CARS-21)

[通信作者] \*赫荣琳, 教授, 硕士生导师, 研究方向为人参等药用植物病害的绿色防控, E-mail: hrl1007@163.com; \*高洁, 教授, 博士生导师, 研究方向为人参等药用植物病害的绿色防控, E-mail: jiecao115@126.com

[作者简介] 于慧, 硕士研究生, E-mail: 1248692201@qq.com

for the management of resistance of *Alternaria* spp. causing *Alternaria* leaf spot of ginseng to fungicides. The study first detected its antifungal activity against three species (*A. alternata*, *A. panax*, and *A. tenuissima*) and biochemical activity against *A. alternata* and then determined its efficacy against *Alternaria* leaf spot of ginseng *in vitro*. Field experiments lasting for one year at three locations were conducted to evaluate its field efficacy against *Alternaria* leaf spot of ginseng. Spearman's correlation analysis was used to determine the cross-resistance of 40% prothioconazole-tebuconazole SC with eight commonly used fungicides. The results showed that prothioconazole-tebuconazole had a good inhibitory effect on mycelial growth and spore germination of the three *Alternaria* species, and the inhibitory effect on mycelial growth was stronger than that on spore germination. The treatment with prothioconazole-tebuconazole at the concentrations of 0.1, 1.0, and 10.0  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  resulted in deformity of mycelia, shortened germ tubes of conidia, reduced content of DNA and soluble proteins, and decreased permeability of cell membrane of *A. alternata*. Under *in vitro* conditions, the protective and curative effects of 40% prothioconazole-tebuconazole SC in the concentration range of 50-150  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  on *Alternaria* leaf spot of ginseng were 65.45%-100.00% and 65.58%-96.36%, respectively, which were significantly better than those of tebuconazole at the same concentration. There was no cross-resistance between prothioconazole-tebuconazole and the eight fungicides (difenoconazole, propiconazole, tebuconazole, iprodione, pyraclostrobin, azoxystrobin, kresoxim-methyl, and mancozeb). These eight fungicides were widely used to prevent and control *Alternaria* leaf spot of ginseng, and *A. panax* causing *Alternaria* leaf spot of ginseng had resistance to them. The results of the field experiments at three locations showed that 40% prothioconazole-tebuconazole SC was more effective than difenoconazole, propiconazole, tebuconazole, and iprodione 7, 15, and 30 d after its last application and had long effective duration. In conclusion, 40% prothioconazole-tebuconazole SC had high antifungal activity and biochemical activity against *Alternaria* spp. and better efficacy for the prevention and control of *Alternaria* leaf spot of ginseng in the field than the commonly used fungicides to which *Alternaria* spp. were resistant, and no cross-resistance was found between 40% prothioconazole-tebuconazole SC and the fungicides. It can be used for resistance management of *Alternaria* spp.

[Key words] *Alternaria* spp.; prothioconazole-tebuconazole; antifungal activity; biochemical activity; cross-resistance; field efficacy; *Panax ginseng*

DOI: 10.19540/j.cnki.cjcm.20250505.101

人参 *Panax ginseng* C. A. Mey. 是五加科人参属的多年生宿根草本植物,被誉为“百草之王”<sup>[1]</sup>。人参病害的发生一直是限制人参产业可持续发展的关键因素,人参黑斑病是由 *Alternaria* spp. 引起人参生产中发生最为严重的地上部病害之一<sup>[2]</sup>,常年发病率为 20%~30%,严重时高达 70%<sup>[3]</sup>,可在人参各个部位发病,导致叶片大量干燥枯死、植株倒伏甚至死亡,侵染果实时可造成种子带菌等问题<sup>[4]</sup>。目前人参黑斑病的防治主要以化学药剂防治为主,已经登记防治人参黑斑病的药剂有异菌脲、啞菌酯、醚菌酯、戊唑醇、苯醚甲环唑、丙环唑等,研究表明人参链格孢 *A. panax* 对啞菌酯、醚菌酯、吡唑醚菌酯和代森锰锌均已产生抗药性群体<sup>[5]</sup>。抗药性产生后,为保持其防治效果不得不增加施药量和次数,其后果必将增加农残超标和环境污染的风险,导致人参品质下降,国际市场竞争力降低,最终制约人参产业的高质量发展。

丙硫菌唑 (prothioconazole) 和戊唑醇 (tebuconazole) 是由德国拜耳股份公司研发的三唑类杀菌剂<sup>[6]</sup>,可用于防治多种作物叶部病害和根部病

害<sup>[7-9]</sup>。其合剂 40% 丙硫菌唑-戊唑醇悬浮剂 (SC) 具有很好的内吸作用及优异的保护、治疗和铲除活性,对作物安全,目前在防治小麦病害上应用较多<sup>[10-12]</sup>,其对人参黑斑病的防治效果未见报道。为此开展本研究,以期 40% 丙硫菌唑-戊唑醇 SC 用于防控人参黑斑病及黑斑病菌的抗药性治理奠定基础。

## 1 材料

### 1.1 杀菌剂

98% 戊唑醇原药 (货号 20201204)、40% 丙硫菌唑-戊唑醇 SC (货号 PD20230189) 购自海利尔药业集团股份有限公司;96% 苯醚甲环唑原药 (货号 20201201) 购自湖北久丰隆化工有限公司;95% 丙环唑原药 (货号 20201214)、25% 丙环唑乳油 (EC) (货号 PD20070296) 购自浙江禾本科技股份有限公司;97% 异菌脲原药 (货号 20201220)、43% 戊唑醇 SC (货号 PD20140150) 购自山东省联合农药工业有限公司;98% 啞菌酯原药 (货号 20201211)、97% 醚菌酯原药 (货号 20201218)、96% 吡唑醚菌酯原药 (货号 20201203) 购自河北锐药生物科技有限公司;

97%代森锰锌原药(货号 20201219)购自江苏利民化工有限公司;25%苯醚甲环唑 EC(货号 PD20080730)购自瑞士先正达作物保护有限公司;50%异菌脲 SC(货号 PD20082563)购自江苏蓝丰生物化工股份有限公司。以上原药使用前用丙酮和 0.1%聚山梨酯 80 水溶液或无菌水配制成  $1 \times 10^4 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  的母液,4 °C 保存;制剂用于田间药效试验。

## 1.2 菌株

于 2015—2021 年从不同地区采集人参黑斑病样本,组织分离法分离,单纯纯化后,经柯赫法则致病性验证后,于 -80 °C 保存。使用前在马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)平板上活化,包含 112 株 *A. alternata*、27 株 *A. panax* 和 31 株 *A. tenuissima*。

## 1.3 仪器

DL-CJ-1N 超净工作台(北京东联哈尔仪器制造有限公司),SPX 恒温培养箱(宁波东南仪器有限公司),BXM-7.5VE 高压蒸汽灭菌锅(上海博讯医疗生物仪器股份有限公司),UV2300 紫外分光光度计(上海天美科学仪器有限公司),BA210 光学显微镜(厦门麦克奥迪光学仪器有限公司),NHWY-200B 振荡培养摇床(常州诺基仪器有限公司),JXFST-PRP-64 细胞研磨破碎仪(上海净信实业发展有限公司),雷磁 DDS-11A 电导率仪(上海仪电科学仪器股份有限公司),BS300S-Wei 电子天平(北京赛多利斯天平有限公司),100~1 000  $\mu\text{L}$  微量移液器(德国 Eppendorf 公司),Axio Imager A2 显微镜(德国 ZEISS 公司),NanoDrop-2000 分光光度计(美国 Thermo 公司),CT15RE 冷冻离心机(日本 Hitachi 公司)。

## 2 方法

### 2.1 丙硫菌唑-戊唑醇对 3 种人参黑斑病菌的抑菌活性测定

采用菌丝生长速率法测定丙硫菌唑-戊唑醇对 *A. alternata*、*A. panax*、*A. tenuissima* 菌丝生长的影响<sup>[13]</sup>。将配制的各浓度药液与融化至 50 °C 的 PDA 培养基按 1:9 混匀,制成 100.0、10.0、5.0、1.0、0.1  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  丙硫菌唑-戊唑醇的含药平板,将供试菌株用 8 mm 无菌打孔器在菌落边缘打取菌饼,菌丝面朝下接入含药培养基中央,每个浓度重复 3 次,以加入等量聚山梨酯 80 的培养基平板作为空白对照,在 28 °C 恒温培养箱中黑暗培养 7 d,采用十字交叉法测量各药剂不同浓度处理的菌落直径,并根据公式

(1)计算菌丝生长抑制率。

$$\text{抑菌率} = \frac{\text{对照菌落直径} - \text{处理菌落直径}}{\text{对照菌落直径} - \text{菌饼直径}} \times 100\% \quad (1)$$

采用孢子萌发法<sup>[14]</sup>测定丙硫菌唑-戊唑醇对产孢菌株 *A. alternata* 和 *A. tenuissima* 孢子萌发的影响。首先将供试菌株接种到 PDA 平板上,在黑暗条件下 25 °C 培养 5 d,用 0.1%聚山梨酯 80 溶液冲洗菌落表面,将洗脱下的孢子通过双层无菌擦镜纸过滤后配制成每毫升  $1 \times 10^6$  个孢子的悬浮液;在凹玻片中加入孢子悬浮液和供试药剂(0.01、0.1、5.0、10.0、20.0  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ )各 30  $\mu\text{L}$ ,25 °C 恒温保湿条件下培养 3 h,观察不同浓度处理下孢子的萌发情况。当孢子芽管长度超过孢子短半径时视为萌发,每个处理 3 次重复,随机观察 3 个视野,调查孢子总数不少于 100 个,记录视野孢子总数及孢子萌发数,利用公式(2)、(3)分别计算孢子萌发率( $R$ )和分生孢子相对萌发抑制率( $I$ )。

$$R = \frac{\text{孢子萌发数}}{\text{调查的孢子总数}} \times 100\% \quad (2)$$

$$I = \frac{\text{空白对照孢子萌发率} - \text{处理孢子萌发率}}{\text{空白对照孢子萌发率}} \times 100\% \quad (3)$$

### 2.2 丙硫菌唑-戊唑醇对 *A. alternata* 菌丝形态和芽管伸长的影响

**2.2.1 对菌丝形态的影响** 将不同抗药性的菌株 *A. alternata* SJHJ2、JY4、JN15 分别接种到 100 mL 马铃薯葡萄糖(PDB)培养基中,25 °C 静置培养 24 h 后,在培养基内分别加入不同浓度的丙硫菌唑-戊唑醇,使其终浓度为 0、0.1、1.0、10.0  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ,25 °C、150  $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$  摇床培养 48 h,挑取单根菌丝,于显微镜下观察菌丝顶端变化情况,并进行拍照。

**2.2.2 对分生孢子芽管伸长的影响** 采用凹玻片法,具体方法同 2.1 项。观察 *A. alternata* SJHJ2、JY4、JN15 的分生孢子在丙硫菌唑-戊唑醇终浓度为 0、0.1、10.0  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  的凹玻片内萌发 10 h 后的分生孢子及芽管形态,并在显微镜下利用自带的标尺测量孢子萌发后从孢子到芽管顶端的直线长度,统计芽管长度的变化。

### 2.3 丙硫菌唑-戊唑醇对 *A. alternata* 生化活性的影响

**2.3.1 对 DNA 合成的影响** 参考文献方法<sup>[15]</sup>并略有改进,菌株选择与菌丝处理方法同 2.2.1 项,将处理好的菌丝过滤,各称量 0.1 g,采用十六烷基三甲基溴化铵(CTAB)法提 DNA,测量各个处理 DNA

浓度。

**2.3.2 对蛋白质合成的影响** 参照文献方法<sup>[16]</sup>建立牛血清蛋白标准曲线,菌株选择与菌丝处理方法同**2.2.1**项,将收集到的菌丝各称量0.2 g加入到2 mL离心管,在冷冻球磨仪下研磨,再加入1.5 mL pH 7.0磷酸盐缓冲液,转移到10 mL离心管中并定容至10 mL,4 ℃,4 000 r·min<sup>-1</sup>离心15 min,吸取上清液备用。取上一步提取的各浓度药剂处理的上清液即粗蛋白质液1 mL加入5 mL考马斯亮蓝G-250溶液,静置反应2 min后,在595 nm条件下利用紫外分光光度计测定吸光度(A)与牛血清白蛋白标准曲线进行比较。

**2.3.3 对核酸泄露的影响** 将*A. alternata* SJHJ2、JY4、JN15分别接种到100 mL PDB培养基中,于25 ℃、150 r·min<sup>-1</sup>摇床培养3 d,取2 g菌丝悬浮于0、0.1、1.0、10.0 μg·mL<sup>-1</sup>的丙硫菌唑-戊唑醇药液中,每个处理重复3次。于0、1、2、3、4 h时取样,对菌丝进行过滤,通过检测A<sub>260 nm</sub>来确定核酸的漏出量<sup>[17]</sup>。

**2.3.4 对细胞膜通透性的影响** 菌丝的处理方式同**2.2.1**项。分别称取各处理的菌丝鲜重0.3 g,并悬浮于20 mL蒸馏水中,每隔30 min对电导率进行测量,测量至180 min结束。完成电导率测量后,再用沸水加热15 min,以达到杀死病菌组织的目的,然后流水冷却10 min,于室温下再次测量电导率,用公式(4)求得电解质相对电导率<sup>[18]</sup>。

$$\text{相对电导率} = \frac{C - C_0}{C_{\text{致死}} - C_0} \times 100\% \quad (4)$$

C为各时间点溶液中的电导率;C<sub>0</sub>为0 h溶液中的初始电导率;C<sub>致死</sub>为煮沸处理后的电导率,单位为μS·cm<sup>-1</sup>。

**2.4 丙硫菌唑-戊唑醇对人参黑斑病的防治效果评价**

**2.4.1 离体条件下对人参黑斑病保护和治疗作用测定** 取新鲜无病长势良好的4年生人参叶片,于75%的乙醇中浸泡30 s进行表面消毒,再用无菌水冲洗3次,取出晾干。保护作用的测定先将叶片分别均匀喷洒100~200 μL系列浓度梯度的丙硫菌唑-戊唑醇和戊唑醇(150、100、50 μg·mL<sup>-1</sup>)药液,以喷洒等量无菌水作为对照处理。在接种盘中铺上3层无菌滤纸,并加无菌蒸馏水将其浸湿,保证湿度,把不同处理的叶片放置其中,24 h后,避开主脉,在

叶片一侧,用灭菌的挑针针刺,轻微破坏叶片表皮,打取不同敏感性水平菌株*A. alternata* (SJHJ2、JY4、JN15)菌落边缘菌饼接种于针刺部位;治疗作用则相反,先接种病原菌后喷不同浓度的药液;每个处理3次重复。培养7 d后,用十字交叉法测定病斑直径,利用公式(5)计算丙硫菌唑-戊唑醇对黑斑病的防治效果<sup>[19]</sup>。

$$\text{防治效果} = \frac{\text{对照病斑面积} - \text{处理病斑面积}}{\text{对照病斑面积}} \times 100\% \quad (5)$$

**2.4.2 田间防治效果评价** 2024年于吉林省长春市净月区(E 125°41', N 43°80'),吉林省抚松县松江河镇(E 127°45', N 42°21'),吉林省敦化市雁鸣湖镇(E 128°60', N 43°69')3个地区进行田间药效试验;试验共设8个处理(表1),试验作物为4年生人参,品种为大马牙,小区随机区组排列,长春市净月区小区面积为2 m<sup>2</sup>,4次重复,其余两地小区面积为3 m<sup>2</sup>,3次重复;在人参黑斑病发生前进行第一次喷药(无病情),采用茎叶喷雾的处理方法,用水量为每亩30 L(1亩≈667 m<sup>2</sup>),用药间隔期7~10 d,试验期间共施药3次,在末次施药后7、15、30 d各调查1次。每小区随机选择5点调查,每点调查10株的所有叶片,以每一掌状复叶单一叶片上病斑面积占整个单叶面积的百分率来分级,记录总叶片数、各级病叶数。

表1 田间试验药剂使用剂量信息

Table 1 Dose information of fungicides for field experiments

分组	处理	每亩制剂	有效成分用量
		用量/mL	/g a. i. · hm <sup>-2</sup>
试验	40%丙硫菌唑-戊唑醇 SC	20	120
		25	150
		30	180
对照	25%苯醚甲环唑 EC	35	131
	25%丙环唑 EC	30	112
	43%戊唑醇 SC	22	142
	50%异菌脲 SC	150	1 124
空白对照	清水	0	0

注:SC. 悬浮剂;EC. 乳油(表4、5同)。g a. i. · hm<sup>-2</sup>表示克有效成分/公顷。

分级方法(以叶片为单位)(NY/T 1464. 64-2017):0级,无病斑;1级,病斑面积占整个叶面积的5%以下;3级,病斑面积占整个叶面积的5.1%~10%;5级,病斑面积占整个叶面积的10.1%~20%;

7级,病斑面积占整个叶面积的20.1%~50%;9级,病斑面积占整个叶面积的50%以上。计算病情指数和防治效果并计算药剂持效期,按公式(6)、(7)计算。

$$\text{病情指数} = \frac{\sum (\text{各级病株数} \times \text{相对级数值})}{\text{调查总株数} \times 9} \times 100 \quad (6)$$

防治效果 =

$$\frac{\text{空白对照区施药后病情指数} - \text{药剂处理区施药后病情指数}}{\text{空白对照区施药后病情指数}} \times 100\% \quad (7)$$

## 2.5 交互抗药性分析

基于菌株的来源和对丙硫菌唑-戊唑醇的敏感性水平选取56株人参交链孢菌。采用菌丝生长速率法(具体方法同2.1项),分别测定人参交链孢菌对苯醚甲环唑、丙环唑(100.0、10.0、5.0、1.0、0.1  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ );戊唑醇(100.0、10.0、5.0、1.0、0.5  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ );异菌脲(10.0、5.0、1.0、0.1、0.01  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ );啞菌酯、醚菌酯、吡唑醚菌酯(1000.0、100.0、10.0、1.0、0.1、0.01  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ );代森锰锌(2500、1000、500、100、50、10  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ )8种杀菌剂的敏感

性,并比较其与丙硫菌唑-戊唑醇之间的交互抗性。

## 2.6 统计分析

所有数据均采用Microsoft Excel 2024、SPSS 26软件和GraphPad Prism 9.5.0进行处理分析及绘图。把不同药剂浓度作为横坐标( $X$ ),菌丝生长抑制率和分生孢子相对萌发抑制率的几率值作为纵坐标( $Y$ ),计算毒力回归方程 $Y=a+bX$ 和有效抑制中浓度 $EC_{50}$ 、 $EC_{90}$ 以及相关系数( $r$ )。通过对丙硫菌唑-戊唑醇和其他药剂的 $\lg EC_{50}$ 进行Spearman相关性分析,通过相关系数( $\rho$ )和 $P$ 来确定杀菌剂间是否存在交互抗性<sup>[20]</sup>。采用Duncan新复极差法进行统计学比较。

## 3 结果

### 3.1 丙硫菌唑-戊唑醇对人参黑斑病菌的抑菌活性测定

丙硫菌唑-戊唑醇对*A. alternata*、*A. panax*、*A. tenuissima*菌丝生长的抑菌效果差异无统计学意义,对*A. tenuissima*孢子萌发的抑制效果更强(表2)。整体看丙硫菌唑-戊唑醇对病菌菌丝生长的抑制作用要好于孢子萌发。

表2 丙硫菌唑-戊唑醇对人参黑斑病菌 *Alternaria* spp. 的抑菌活性( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

Table 2 Antifungal activity of prothioconazole-tebuconazole against *Alternaria* spp. ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

方法	种类	菌株数/个	$EC_{50}/\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$	$EC_{50}$ 平均值/ $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$
菌丝生长速率	<i>Alternaria alternata</i>	83	1.163 5~42.023 2	4.752 5±0.653 7c
	<i>A. panax</i>	27	0.826 3~4.524 6	2.015 7±0.179 0c
	<i>A. tenuissima</i>	31	0.467 9~18.555 2	3.466 0±0.751 2c
孢子萌发	<i>A. alternata</i>	70	1.192 4~29.295 8	11.466 0±0.809 2a
	<i>A. tenuissima</i>	17	1.911 7~23.676 1	7.717 6±1.486 6b

注:同一列不同小写字母表示差异显著, $P<0.05$ (表3~5同)。

### 3.2 丙硫菌唑-戊唑醇对 *Alternaria alternata* 菌丝形态和芽管伸长的影响

**3.2.1 对菌丝形态的影响** 不同浓度丙硫菌唑-戊唑醇处理后,*A. alternata* SJHJ2、JY4、JN15的菌丝形态均有变化(见中国知网本文增强出版附加材料)。随着丙硫菌唑-戊唑醇浓度的增加,菌丝畸形程度逐渐增大,分枝增多且较短;不经药剂处理的菌丝表面光滑、细长且分枝较少,这表明丙硫菌唑-戊唑醇对人参交链孢菌菌丝形态有一定的影响。

**3.2.2 对分生孢子芽管伸长的影响** 不同浓度丙硫菌唑-戊唑醇处理人参交链孢菌的分生孢子10 h后,*A. alternata* SJHJ2、JY4、JN15分生孢子萌发的芽

管长度随着浓度的提高而变短,且菌株敏感性越低,芽管长度越长,这表明丙硫菌唑-戊唑醇对*A. alternata*的芽管伸长具有抑制作用,并且芽管长度随敏感性水平的升高而降低(表3及中国知网本文增强出版附加材料)。

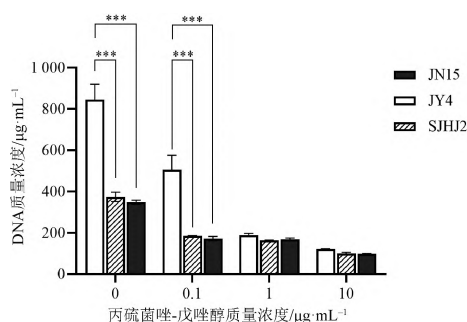
### 3.3 丙硫菌唑-戊唑醇对 *A. alternata* 生化活性的影响

**3.3.1 对DNA合成的影响** 经丙硫菌唑-戊唑醇处理24 h后菌株*A. alternata* SJHJ2、JY4、JN15菌丝内DNA含量有明显变化(图1),JY4菌株DNA含量变化较大,其余2株未出现大幅度变化,但与空白对照相比,3株菌DNA含量随药剂浓度的递增呈下降趋势,说明药剂能够减少病菌DNA的合成,从而

表3 不同浓度丙硫菌唑-戊唑醇处理 *Alternaria alternata* 分生孢子 10 h 时的芽管长度 ( $\bar{x} \pm s, n = 100$ )Table 3 Germ tube length of conidia of *Alternaria alternata* treated with different concentrations of prothioconazole-tebuconazole for 10 h ( $\bar{x} \pm s, n = 100$ )

质量浓度/ $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$	SJHJ2 长度/ $\mu\text{m}$	JY4 长度/ $\mu\text{m}$	JN15 长度/ $\mu\text{m}$	平均长度/ $\mu\text{m}$
0	221.27 $\pm$ 65.62a	204.10 $\pm$ 66.55a	146.09 $\pm$ 54.89a	190.49 $\pm$ 32.17a
0.1	114.90 $\pm$ 26.59b	89.72 $\pm$ 28.41b	81.95 $\pm$ 24.60b	95.52 $\pm$ 14.06b
10.0	82.72 $\pm$ 17.98b	80.73 $\pm$ 20.14b	70.49 $\pm$ 22.83b	77.98 $\pm$ 5.36b

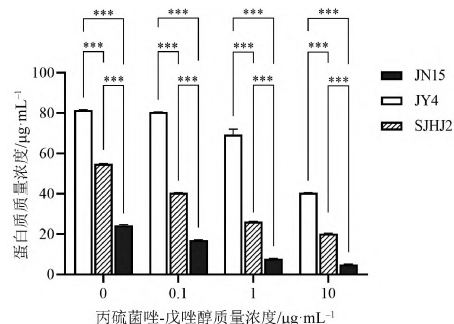
削弱其繁殖能力和致病潜力。



\*\*\*  $P < 0.001$  (图2同)。

图1 不同浓度丙硫菌唑-戊唑醇处理下菌丝中DNA合成的差异 ( $\bar{x} \pm s, n = 3$ )Fig. 1 Differences in DNA synthesis in mycelia of *Alternaria alternata* treated with different concentrations of prothioconazole-tebuconazole ( $\bar{x} \pm s, n = 3$ )

**3.3.2 对蛋白质合成的影响** 蛋白含量标准曲线为  $y = 0.0061x + 0.1025$  ( $R^2 = 0.9954$ )。与空白对照相比,经过丙硫菌唑-戊唑醇不同浓度处理后 *A. alternata* SJHJ2、JY4、JN15 菌株的可溶性蛋白含量均降低,且随着浓度的增加,病菌可溶性蛋白含量呈下降趋势(图2)。

图2 不同浓度丙硫菌唑-戊唑醇处理下 *Alternaria alternata* 菌丝中可溶性蛋白合成的差异 ( $\bar{x} \pm s, n = 3$ )Fig. 2 Differences in soluble protein synthesis in mycelia of *Alternaria alternata* treated with different concentrations of prothioconazole-tebuconazole ( $\bar{x} \pm s, n = 3$ )

**3.3.3 对核酸泄露的影响**通过测定用  $A_{260\text{nm}}$  来评估不同浓度丙硫菌唑-戊唑醇处理后人参交链孢菌的核酸泄露情况(见中国知网本文增强出版附加材料)。经不同浓度丙硫菌唑-戊唑醇处理,各菌株的  $A_{260\text{nm}}$  均随着药剂浓度和时间的增加而提高且高于对照组;与不加药处理组相比,药剂浓度的增加对高敏感菌株 JN15  $A_{260\text{nm}}$  的影响高于其余2株,低敏感菌株菌丝对药剂的破坏有着更强的抵抗作用。说明丙硫菌唑-戊唑醇处理能破坏菌丝细胞膜,使病体内核酸泄露。

**3.3.4 对细胞膜通透性的影响** 以不同浓度的丙硫菌唑-戊唑醇处理3株人参交链孢菌,其细胞膜通透性的结果表明,随着药剂浓度和时间的增加菌株电导率也随之提高,但不同敏感性水平菌株的相对电导率间略有差异(见中国知网本文增强出版附加材料)。不加药处理下低敏感菌株 SJHJ2 电导率最大,  $0.1 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  低浓度药剂处理后的结果与不加药处理一致,随着药剂浓度的增加,3株菌的电导率逐渐趋近一致。说明丙硫菌唑-戊唑醇不同浓度处理能够破坏菌丝细胞膜使细胞内容物渗漏;不同敏感性水平菌株比较发现,低敏感菌株电导率随处理浓度的增加变化幅度小于高敏感菌株,其对外界药液的渗透调节能力更强。

**3.4 40%丙硫菌唑-戊唑醇 SC 对人参黑斑病的防治效果评价**

**3.4.1 离体条件下对人参黑斑病保护和治疗作用**

测定40%丙硫菌唑-戊唑醇 SC 和43%戊唑醇 SC 单剂对人参黑斑病的保护和治疗效果随着处理浓度的增加而增强(表4及中国知网本文增强出版附加材料)。40%丙硫菌唑-戊唑醇 SC 在50、100、150  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  剂量下,保护作用效果均高于43%戊唑醇 SC,150  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  的40%丙硫菌唑-戊唑醇 SC 治疗效果(96.36%)与同等浓度的43%戊唑醇 SC (99.31%)的治疗效果相当且差异无统计学意义,在

100、150  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  剂量下,其治疗作用效果高于 43% 戊唑醇 SC。不同抗性水平菌株比较发现,低敏感菌

株对药剂有更强的抗性,从而使药剂对病害的保护和治疗效果也随着敏感性的降低而减弱。

表 4 40%丙硫菌唑-戊唑醇 SC 和 43%戊唑醇 SC 对 *Alternaria alternata* 引起的黑斑病的保护与治疗效果 ( $\bar{x}\pm s, n=3$ )

Table 4 Protective and curative effects of prothioconazole-tebuconazole 40% SC and tebuconazole 43% SC on *Alternaria* leaf spot caused by *A. alternata* ( $\bar{x}\pm s, n=3$ )

药剂	质量浓度 / $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	保护效果/%			平均保护 效果/%	治疗效果/%			平均治疗 效果/%
		SJHJ2	JY4	JN15		SJHJ2	JY4	JN15	
40%丙硫菌 唑-戊唑醇 SC	150	100.00	100.00	100.00	100.00±0a	91.09	97.98	100.00	96.36±3.81a
	100	81.05	88.10	90.12	86.45±3.91b	84.16	90.91	90.00	88.36±2.99b
	50	58.95	66.07	71.60	65.45±5.59c	61.39	68.69	66.67	65.58±3.08d
43%戊唑醇 SC	150	90.71	89.58	91.33	90.54±0.72ab	97.94	100.00	100.00	99.31±0.97a
	100	56.64	62.50	76.46	65.20±8.32c	75.22	75.00	84.52	78.25±4.43c
	50	50.44	51.04	41.78	47.75±4.23d	59.73	58.33	65.16	61.08±2.94d

**3.4.2 田间防治效果及安全性评价** 2024 年长春市净月区、抚松县松江河镇、敦化市雁鸣湖镇三地田间试验结果表明 40%丙硫菌唑-戊唑醇 SC、25%苯醚甲环唑 EC、25%丙环唑 EC、43%戊唑醇 SC、50%异菌脲 SC 这 5 种杀菌剂均对人参黑斑病均有一定的防治效果,不同剂量处理之间有一定差异。综合 3 个地点的平均防效,发现 40%丙硫菌唑-戊唑醇悬浮剂,每亩制剂用量为 30 mL 时对人参黑斑病防治效果最好,优于 25%苯醚甲环唑 EC、25%丙环唑 EC、43%戊唑醇 SC、50%异菌脲 SC 4 种对照药剂。

末次施药 7 d 后调查的结果显示三地 40%丙硫菌唑-戊唑醇 SC 中,高剂量每亩 25、30 mL 下的防效高于 4 种对照药剂的防效(表 5);末次施药 15 d 和 30 d,所有杀菌剂的防效随着时间的延长其防治效果逐渐降低,但其病情指数依旧低于清水处理组,且 3 个地区在每亩 25、30 mL 剂量下的 40%丙硫菌唑-戊唑醇 SC 的平均防效仍然高于 4 种对照药剂;说明 40%丙硫菌唑-戊唑醇 SC 的持效期较长。在上述药量下 40%丙硫菌唑-戊唑醇 SC 对人参安全,未见药害发生。

### 3.5 交互抗药性分析

采用菌丝生长速率法测定 56 株 *A. alternata* 对丙硫菌唑-戊唑醇与吡唑醚菌酯、啞菌酯、醚菌酯、代森锰锌、苯醚甲环唑、丙环唑、戊唑醇和异菌脲的敏感性,并以各杀菌剂  $\lg EC_{50}$  进行 Spearman 相关性分析,结果表明 *A. alternata* 对丙硫菌唑-戊唑醇与上述药剂的敏感性无显著相关性,不存在交互抗性(表 6)。

## 4 结论与讨论

由于黑斑病目前在人参生产上造成的危害日益严重,且随着人参生长年限的增加,人参植株抗性降低导致病害逐年加重<sup>[21]</sup>。相关研究表明已有不同寄主来源(烟草、番茄、华重楼、马铃薯、枣、大蒜、柑橘、开心果等)的链格孢菌 *Alternaria* spp. 对苯醚甲环唑<sup>[22-26]</sup>、戊唑醇<sup>[27-28]</sup>、啞菌酯<sup>[29-31]</sup>、吡唑醚菌酯<sup>[32]</sup>和异菌脲<sup>[33-36]</sup>出现敏感性降低或产生抗药性的现象,国际杀菌剂抗性委员会也将戊唑醇等脱甲基抑制剂列为中等抗性风险<sup>[37]</sup>。因此迫切需要筛选一些新的杀菌剂来防治黑斑病和治理抗药性。

人参黑斑病是由链格孢属的 3 个种即人参交链孢菌 *A. alternata*、人参链格孢菌 *A. panax* 和细极链格孢菌 *A. tenuissima* 侵染所引起的<sup>[38]</sup>,本研究测定了丙硫菌唑-戊唑醇对这 3 种病原菌的菌丝的抑菌活性,由于 *A. panax* 在人工培养条件下不易产生孢子,所以测定了丙硫菌唑-戊唑醇对 *A. alternata* 和 *A. tenuissima* 分生孢子的敏感性,结果表明丙硫菌唑-戊唑醇对 *Alternaria* spp. 菌丝生长的抑制作用要强于孢子萌发,这与前人研究结论一致<sup>[39]</sup>。

有研究显示人参交链孢菌 *A. alternata* 在一些地区和人参特定部位的分离频率较高,且该病原菌超过半数菌株都能够产生孢子,所以选择 *A. alternata* 进行生化活性的相关研究<sup>[38]</sup>。结果显示,丙硫菌唑-戊唑醇对 *A. alternata* 病菌菌丝形态有明显的破坏,对芽管伸长也有明显的抑制,随着药剂浓度的提高,芽管长度逐渐变短,说明丙硫菌唑-戊唑醇对 *A. alternata* 分生孢子的抑制作用主要体现在芽管

表5 不同杀菌剂对人参黑斑病的田间防效( $\bar{x}\pm s, n=3$ )Table 5 Field efficacy of different fungicides on *Alternaria* leaf spot of ginseng ( $\bar{x}\pm s, n=3$ )

地区	药剂	每亩 制剂 量/mL	末次施药后 7 d		末次施药后 15 d		末次施药后 30 d	
			病情指数	防治效果 /%	病情指数	防治效果 /%	病情指数	防治效果 /%
长春市 净月区	40%丙硫菌唑-戊唑醇 SC	20	2.34±0.94ab	59.23±16.35a	8.07±0.27b	47.28±1.80a	16.20±1.00b	43.45±3.49a
		25	1.03±0.77b	82.12±13.34a	5.67±0.96b	62.96±6.26a	14.53±2.71b	49.27±9.47a
		30	0.78±0.42b	86.50±7.30a	6.07±1.73b	60.35±11.33a	12.13±2.62b	57.65±9.13a
	25%苯醚甲环唑 EC	35	1.58±0.48ab	72.55±8.31a	8.67±1.76b	43.36±11.48a	17.53±1.98b	38.80±6.93a
	25%丙环唑 EC	30	1.24±0.41b	78.45±7.19a	7.93±0.76b	48.15±5.00a	16.80±3.65b	41.36±12.76a
	43%戊唑醇 SC	22	2.34±0.59ab	59.25±10.29a	7.73±2.28b	49.46±14.91a	15.73±3.39b	45.08±11.82a
	50%异菌脲 SC	150	1.36±0.76b	76.29±13.21a	9.47±2.07b	38.13±13.51a	19.73±2.94ab	31.12±10.26a
CK	0	5.75±2.67a	-	15.30±1.59a	-	28.65±3.93a	-	
抚松县 松江河镇	40%丙硫菌唑-戊唑醇 SC	20	4.98±0.79b	49.00±8.09ab	7.73±0.53b	42.91±3.94a	13.24±1.05b	36.97±4.99a
		25	1.96±0.99b	79.96±10.14a	5.07±0.94b	62.60±6.92a	9.16±2.45b	56.43±11.64a
		30	2.67±0.71b	72.68±7.23ab	5.16±0.85b	61.94±6.26a	8.27±1.20b	60.66±5.72a
	25%苯醚甲环唑 EC	35	2.76±0.94b	71.77±9.64ab	5.60±1.26b	58.66±9.30a	12.09±1.74b	42.47±11.25a
	25%丙环唑 EC	30	3.73±0.71b	61.75±7.23ab	6.31±1.00b	53.41±7.40a	10.76±2.54b	48.82±12.09a
	43%戊唑醇 SC	22	3.82±0.24b	60.84±2.41ab	6.76±0.18b	50.13±1.31a	11.82±0.69b	43.74±3.30a
	50%异菌脲 SC	150	5.16±1.45b	47.18±14.91b	7.47±1.34b	44.88±9.91a	14.40±2.85b	31.47±13.57a
CK	0	9.76±1.57a	-	13.55±1.57a	-	21.01±4.66a	-	
敦化市 雁鸣湖镇	40%丙硫菌唑-戊唑醇 SC	20	2.67±0.62b	51.61±11.17a	3.47±0.92a	46.11±14.36a	5.07±0.81a	39.36±9.75a
		25	1.78±0.15b	67.74±11.61a	3.02±0.79a	53.02±12.28a	4.36±0.44a	47.87±5.32a
		30	1.51±0.62b	72.58±11.29a	2.49±1.29a	61.31±20.07a	3.91±1.11a	53.19±13.33a
	25%苯醚甲环唑 EC	35	2.76±0.94b	50.00±17.07a	3.56±0.69a	44.73±10.79a	4.89±0.76a	41.49±9.09a
	25%丙环唑 EC	30	1.96±0.31b	64.52±3.23a	3.29±0.39a	48.88±6.02a	4.80±0.86a	42.55±10.26a
	43%戊唑醇 SC	22	2.04±0.09b	62.90±1.61a	3.20±0.56a	50.26±8.63a	4.98±0.62a	40.43±7.45a
	50%异菌脲 SC	150	2.31±0.90b	58.06±16.37a	3.47±0.82a	46.11±12.66a	5.16±1.16a	38.30±13.83a
CK	0	5.51±1.33a	-	6.43±2.91a	-	8.36±1.56a	-	

表6 丙硫菌唑-戊唑醇与其他8种杀菌剂之间的交互抗性  
Table 6 Cross-resistance analysis between prothioconazole-tebuconazole and other eight fungicides

药剂	丙硫菌唑-戊唑醇	
	$\rho$	$P$
吡唑醚菌酯	0.023	0.867
啉菌酯	0.026	0.850
醚菌酯	-0.082	0.548
代森锰锌	0.064	0.638
苯醚甲环唑	-0.089	0.516
丙环唑	0.052	0.702
戊唑醇	-0.224	0.097
异菌脲	-0.008	0.951

注: $\rho$ : 相关系数;当 $P<0.05$ 且 $\rho>0$ 时说明2种药剂间存在正交互抗性, $P<0.05$ 且 $\rho<0$ 时存在负交互抗性。

伸长阶段;菌株敏感性水平的高低对药剂的抑菌作用有影响,敏感性越低的菌株对药剂的抗性越强,低敏感菌株体内DNA和蛋白含量高,渗透调节能力强,能够在一定程度上抵抗药剂对病菌的抑菌作用;但从整体结果分析,虽然不同菌株自身的一些物质含量有差异,比较后发现丙硫菌唑-戊唑醇处理能使病菌DNA和可溶性蛋白含量减少,改变细胞膜通透性使核酸和电解质外渗,说明一定浓度的丙硫菌唑-戊唑醇削弱了病菌繁殖能力,降低其数量,能改变细胞膜的通透性,增加了药剂进入病菌细胞的机会和浓度,进而达到杀死病菌的目的。以上研究结果表明丙硫菌唑-戊唑醇对人参交链孢菌有较强的生化活性,这些结果从某种程度上说明40%丙硫菌唑-戊唑醇SC对黑斑病菌可能存在多种作用机制。

杀菌剂的保护和治疗作用效果也是评判杀菌剂是否有效的一个重要指标<sup>[40]</sup>,本研究在人参离体叶片上测定了40%丙硫菌唑-戊唑醇SC和43%戊唑醇SC对人参黑斑病的防治效果,发现与已经在人参生产上应用多年的杀菌剂戊唑醇相比,丙硫菌唑-戊唑醇的保护和治疗效果均较好,尤其在50、100  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 下其保护和治疗作用优于同样浓度下的戊唑醇且存在显著差异。

田间试验更能全面准确地评估杀菌剂对病原菌的防治效果,因此选择了长春市、抚松县、敦化市3个地区喷施不同浓度的40%丙硫菌唑-戊唑醇SC和4种对照药剂(25%苯醚甲环唑EC、25%丙环唑EC、43%戊唑醇SC、50%异菌脲SC)对人参黑斑病的防治效果进行进一步的验证,3个地区的试验结果表明与4种在人参生产上使用多年的杀菌剂相比,40%丙硫菌唑-戊唑醇悬浮剂在中、高剂量浓度下均表现出更好的防治效果,最高防效分别能达到86.50%、79.96%、72.58%,尽管随着调查时间的增加防治效果有所下降,但其平均防效仍高于4种对照药剂,说明40%丙硫菌唑-戊唑醇SC能够有效控制黑斑病的发生,同时也说明其防治人参黑斑病有巨大的潜力,能够治理人参黑斑菌的抗药性。

各类杀菌剂间的交互抗性关系对于田间杀菌剂的轮换用药和延缓抗药性的发生有着关键作用<sup>[41]</sup>,分离自番茄的 *A. solani* 对戊唑醇与代森锰锌的敏感性之间存在正交互抗性<sup>[39]</sup>,苯醚甲环唑与啶菌噁唑存在交互抗性<sup>[22]</sup>;分离自马铃薯的 *A. alternata* 对苯醚甲环唑和代森锰锌的敏感性之间存在正交互抗性<sup>[42]</sup>,暂未发现丙硫菌唑-戊唑醇与其他药剂存在交互抗性的相关报道,但据 DUTRA P S S 等<sup>[43]</sup>报道分离自巴西果的 *Monilinia fructicola* 对丙硫菌唑的敏感性与戊唑醇之间交互抗性较弱;SYKES E M 等<sup>[44]</sup>报道小麦的 *Zymoseptoria tritici* 对丙硫菌唑的敏感性与丙环唑之间无交互抗性,本研究结果表明丙硫菌唑-戊唑醇与目前已登记防治黑斑病的8种杀菌剂间无交互抗性,说明应用该杀菌剂到田间可规避和治理现有杀菌剂抗药性。

40%丙硫菌唑-戊唑醇SC对人参黑斑病菌有较好的抑菌活性和生化活性,且在离体和田间条件下对人参黑斑病有较好的防效,优于目前生产上广泛使用的药剂戊唑醇、丙环唑、苯醚甲环唑和异菌脲等,是治理黑斑病菌抗药性的有效药剂。

## [参考文献]

- [1] 梁浩,孙海,邵财,等. 人参根系酵母文库构建及PgD14与Pgpht2-1的互作蛋白筛选[J]. 中国中药杂志, 2024, 49(22):6107.
- [2] 陈长卿,李桐,李欣莲,等. 人参内生细菌NJ13在宿主体内定殖特性及对人参黑斑病的防治效果[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(10):1782.
- [3] 张宁,张晶晶,李雅淑,等. 人参黑斑病生防菌的分离鉴定及防效[J]. 中国生物防治学报, 2022, 38(5):1308.
- [4] 王雪,王春伟,高洁,等. 不同杀菌剂对人参黑斑病菌的毒力测定及田间药效[J]. 农药, 2011, 50(11):841.
- [5] 王迪,王诗然,杨明佳,等. 吉林省人参黑斑病菌对常用药剂的抗药性监测及交互抗性测定[J]. 农药, 2018, 57(8):603.
- [6] 刘勇良,杨奎,杨征宇,等. 40%丙硫·戊唑醇悬浮剂研制[J]. 世界农药, 2022, 44(10):37.
- [7] 刘希玲,张黎辉,李长红,等. 40%丙硫菌唑-戊唑醇悬浮剂的研制[J]. 世界农药, 2022, 44(1):35.
- [8] 陈聃. 葡萄炭疽病菌的抗药性检测和治理研究[D]. 杭州:浙江农林大学, 2013.
- [9] 常哈拿,占浩鑫,张琳,等. 东北地区人参炭疽菌对苯醚甲环唑和戊唑醇的敏感性及其田间抗性监测[J]. 植物病理学报, 2024, 54(2):419.
- [10] 张志伟,魏秀华,于海涛,等. 丙硫菌唑-戊唑醇对小麦白粉病田间防效及其产量的影响[J]. 现代农业科技, 2023(17):93.
- [11] 杨志刚,刘明忠,尹绍忠,等. 丙硫菌唑防治小麦赤霉病试验探究[J]. 河南农业, 2023(13):38.
- [12] 张磊,闵红,韩世平,等. 丙硫菌唑-戊唑醇防控小麦赤霉病的效果[J]. 中国植保导刊, 2022, 42(6):66.
- [13] YIN Y, LIU X, LI B, et al. Characterization of sterol demethylation inhibitor-resistant isolates of *Fusarium asiaticum* and *F. graminearum* collected from wheat in China [J]. *Phytopathology*, 2009, 99(5):487.
- [14] 匙坤,许永华,雷锋杰,等. 人参炭疽菌和人参黑斑菌对人参皂苷的化学趋向性响应研究[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(19):3742.
- [15] 张森,檀立,汪章勋,等. 丙硫菌唑对水稻纹枯病菌的生物活性研究[J]. 安徽农业大学学报, 2022, 49(5):700.
- [16] 姜莉莉. 两株抗药性草莓枯萎病菌的生理生化特性研究[D]. 泰安:山东农业大学, 2012.
- [17] 赵宁.  $\epsilon$ -PL对灰葡萄孢菌的抑制作用及机制研究[D]. 天津:天津科技大学, 2023.
- [18] WANG Y, SUN Y, ZHANG Y, et al. Antifungal activity and biochemical response of cuminic acid against *Phytophthora capsici* Leonian[J]. *Molecules*, 2016, 21(6):756.
- [19] TAO X, ZHAO H, XU H, et al. Antifungal activity and biological characteristics of the novel fungicide quinofumelin

- against *Sclerotinia sclerotiorum*[J]. *Plant Dis*, 2021, 105(9): 2567.
- [20] DU Y, SHI N, RUAN H, et al. Analysis of the prochloraz-Mn resistance risk and its molecular basis in *Mycogone rosea* from *Agaricus bisporus*[J]. *Pest Manag Sci*, 2021, 77(10): 4680.
- [21] 关昕, 李可强, 魏汉莲, 等. 人参黑斑病药剂防治的田间药效试验[J]. *安徽农业科学*, 2021, 49(7): 146.
- [22] ZHANG Y, ZHOU Q, TIAN P, et al. Induced expression of CYP51 associated with difenoconazole resistance in the pathogenic *Alternaria* sect. on potato in China[J]. *Pest Manag Sci*, 2020, 76(5): 1751.
- [23] YANG G, CUI S, MA N, et al. Genetic structure and triazole antifungal susceptibilities of *Alternaria alternata* from greenhouses in Kunming, China[J]. *Microbiol Spectr*, 2022, 10(3): e00382.
- [24] NUWAMANYA A M, RUNO S, MWANGI M. *In-vitro* sensitivity of *Alternaria solani* isolates to azoxystrobin and difenoconazole fungicides in Kenya and detection of Cyt b mutations associated with azoxystrobin resistance[J]. *Crop Prot*, 2022, 158(8): 106010.
- [25] 孙春霞. 道地药材华重楼黑斑病菌(*Alternaria alternata*)对四种杀菌剂抗药性检测及其生物学性质[D]. 南京: 南京农业大学, 2019.
- [26] 李冬亮. 马铃薯早疫病菌对苯醚甲环唑的抗性机制初探[D]. 福州: 福建农林大学, 2018.
- [27] 崔毓, 徐明尧, 阿依克孜, 等. 新疆阿克苏枣黑斑病菌对戊唑醇的敏感基线及其抗药性研究[J]. *塔里木大学学报*, 2017, 29(1): 27.
- [28] 魏令令. 大蒜紫斑病菌(*Alternaria alternata*)对四类杀菌剂的抗药性检测及其生物学性质[D]. 南京: 南京农业大学, 2020.
- [29] 符雨诗, 梅秀凤, 李红叶. 柑桔链格孢褐斑病菌种群对啞菌酯的抗性监测和抗性分子机制[J]. *中国南方果树*, 2015, 44(6): 1.
- [30] VEGA B, DEWDNEY M M. Distribution of Qo I resistance in populations of tangerine-infecting *Alternaria alternata* in Florida[J]. *Plant Dis*, 2014, 98(1): 67.
- [31] MA Z, FELTS D, MICHAILIDES T J. Resistance to azoxystrobin in *Alternaria* isolates from pistachio in California[J]. *Pestic Biochem Phys*, 2003, 77(2): 66.
- [32] PASCHE J S, WHARAM C M, GUDMESTAD N C. Shift in sensitivity of *Alternaria solani* in response to QoI fungicides[J]. *Plant Dis*, 2004, 88(2): 181.
- [33] 张敏, 王迎, 史晓梦, 等. 枣缩果病初侵染互隔链格孢菌抗药性研究[J]. *经济林研究*, 2018, 36(1): 69.
- [34] HUTTON D G. The appearance of dicarboximide resistance in *Alternaria alternata* in passionfruit in south-east Queensland[J]. *Australas Plant Path*, 1988, 17(2): 34.
- [35] MCPHEE W J. Some characteristics of *Alternaria alternata* strains resistant to iprodione[J]. *Plant Dis*, 1981, 65(11): 847.
- [36] BIGGS A R. Mycelia growth, sporulation, and virulence to apple fruit of *Alternaria alternata* isolates resistant to iprodione[J]. *Plant Dis*, 1994, 78(7): 732.
- [37] 刘言, 段晓欣, 成泽珺, 等. 戊唑醇对假禾谷镰孢的抑制作用及对小麦茎基腐病的防治效果[J]. *植物病理学报*, 2024, 1(5): 14.
- [38] GAO J, YANG M J, XIE Z, et al. Morphological and molecular identification and pathogenicity of *Alternaria* spp. associated with ginseng in Jilin province, China[J]. *Can J Plant Pathol*, 2021, 43(4): 537.
- [39] HUANG Y F, WANG H C, CHEN Q Y, et al. Inhibitory activities of six fungicides against mycelial growth and conidial germination of *Alternaria alternata*[J]. *Chin J Pestic Sci*, 2016, 18(2): 263.
- [40] ZHU J, ZHANG L, MA D, et al. A bioactivity and biochemical analysis of iminocytidine tris (albesilate) as a fungicide against *Corynespora cassicola*[J]. *Pestic Biochem Phys*, 2019, 158(6): 121.
- [41] FAN K, WANG J, FU L, et al. Sensitivity of *Botryosphaeria dothidea* from apple to tebuconazole in China[J]. *Crop Prot*, 2016, 87(9): 1.
- [42] YANG L N, HE M H, OUYANG H B, et al. Cross-resistance of the pathogenic fungus *Alternaria alternata* to fungicides with different modes of action[J]. *Bmc Microbiol*, 2019, 19(1): 1.
- [43] DUTRA P S S, LICHTENBERG P S F, MARTINEZ M B, et al. Cross-resistance among demethylation inhibitor fungicides with Brazilian *Monilinia fruticola* isolates as a foundation to discuss brown rot control in stone fruit[J]. *Plant Dis*, 2020, 104(11): 2843.
- [44] SYKES E M, SACKETT K E, SEVERNS P M, et al. Sensitivity variation and cross-resistance of *Zyoseptoria tritici* to azole fungicides in North America[J]. *Eur J Plant Pathol*, 2018, 151(1): 269.

[责任编辑 陈玲]