

技术与应用

Technology & Application

防治红枣黑斑病的杀菌剂筛选和复配研究

刘础荣¹, 董 玥¹, 吕青阳¹, 李迎宾¹,
蒋 娜¹, 罗来鑫¹, 朱天生², 李健强^{1*}

(1. 中国农业大学植物保护学院, 种子病害检验与防控北京市重点实验室, 北京 100193;

2. 塔里木大学植物科学学院, 阿拉尔 843300)

摘要 采用菌丝生长速率法和孢子萌发抑制法, 测定了 14 种杀菌剂单剂及基于单剂筛选结果的二元复配剂对红枣黑斑病菌 *Alternaria tenuissima* 菌丝生长和孢子萌发的抑制作用, 以此评价防治红枣黑斑病的杀菌剂和复配药剂的效果。结果表明, 咯菌腈和啮菌环胺对靶标病菌菌丝生长的抑制效果最佳, 其 EC_{50} 分别为 0.091 3 和 0.099 8 $\mu\text{g/mL}$; 吡唑醚菌酯和啶酰菌胺对病菌孢子萌发抑制效果最佳, 其 EC_{50} 分别为 0.015 3 和 0.293 4 $\mu\text{g/mL}$ 。吡唑醚菌酯与戊唑醇按照 8:2 和 3:7(w/w) 的比例进行复配, 对病菌菌丝生长的抑制表现出相加作用, 其 SR 值分别为 1.124 5 和 0.916 9; 两者以 5:5 和 3:7(w/w) 的比例进行复配, 对孢子萌发的抑制表现出相加作用, 其 SR 值分别为 1.164 6 和 0.901 0。吡唑醚菌酯、啶酰菌胺、咯菌腈、啮菌环胺和异菌脲等对病菌菌丝生长和孢子萌发均有抑制效果; 吡唑醚菌酯与戊唑醇 3:7(w/w) 复配对病菌菌丝生长及孢子萌发的抑制效果均表现出相加作用。上述结果为红枣黑斑病防治药剂的开发和后续田间应用提供了理论支持。

关键词 红枣黑斑病; 链格孢菌; 毒力测定; 药剂复配

中图分类号: S 432.1 **文献标识码:** B **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2018438

Screening of fungicides and their cocktail mixture for controlling black spot of jujube

LIU Churong¹, DONG Yue¹, LÜ Qingyang¹, LI Yingbin¹, JIANG Na¹,
LUO Laixin¹, ZHU Tiansheng², LI Jianqiang¹

(1. College of Plant Protection, Beijing Key Laboratory of Seed Disease Testing and Control, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. College of Plant Science, Tarim University, Alar 843300, China)

Abstract In order to evaluate the effect of fungicides for controlling black spot of jujube (*Ziziphus jujuba*), 14 fungicides as well as their cocktail mixture were screened by measuring the mycelial growth and spore germination. The results indicated that mycelial growth of *Alternaria tenuissima* was strongly inhibited by fludioxonil and cyprodinil, with the EC_{50} values of 0.091 3 and 0.099 8 $\mu\text{g/mL}$, respectively. The spore germination was strongly inhibited by pyraclostrobin and boscalid, with the EC_{50} values of 0.015 3 and 0.293 4 $\mu\text{g/mL}$, respectively. The mixture of pyraclostrobin and tebuconazole had an additive effect on the inhibition of mycelial growth at the ratio of 8:2 or 3:7(w/w), with the synergistic ration (SR) value of 1.124 5 and 0.916 9, respectively. The mixture of these two fungicides also had an additive effect on the inhibition of spore germination at the ratio of 5:5 or 3:7(w/w), with the SR value of 1.164 6 and 0.901 0, respectively. In conclusion, pyraclostrobin, boscalid, fludioxonil, cyprodinil and iprodione showed inhibition effects on mycelial growth and spore germination. The mixture of pyraclostrobin and tebuconazole at the ration of 3:7 had additive effect both on mycelial growth and spore germination, indicating that these fungicides and mixture supplied an alternative choice for jujube black spot disease control in field.

Key words jujube black spot; *Alternaria* sp.; toxicity test; fungicide mixture

枣树 *Ziziphus jujuba* 为鼠李科枣属植物。红枣 枣种质资源, 并为世界贡献了 99% 的红枣产量^[1-2]。是我国特有的优质水果。我国拥有全世界 98% 的红 近年来, 新疆已经成为我国最重要的优质商品红枣

收稿日期: 2018-10-10 修订日期: 2018-11-04

基金项目: 国家科技支撑计划(2014BAC14B04-3); 新疆科技援疆项目(201491150); 新疆维吾尔自治区高层次人才引进项目

* 通信作者 E-mail: lij231@cau.edu.cn

生产基地,在喀什、阿克苏及和田形成了三大红枣主产区。据 2016 年国家统计局数据^[3],新疆红枣年产量 326.42 万 t,居全国第一。伴随红枣产业的快速发展,枣园病害发生严重,其中红枣黑斑病自 2009 年在和田等地首次发现,2010 年在阿克苏地区大面积发生^[4],2013 年南疆多个地区再次大面积发生,果实发病率高达 20%~30%,严重危害红枣产量和品质,造成巨大的经济损失^[5]。

引起新疆维吾尔自治区红枣黑斑病的主要病原菌为细极链格孢 *Alternaria tenuissima*^[6]。该病原菌可引起多种植物病害,曾导致美国伊利诺伊州大豆发生猝倒病而减产 15%^[7];该菌在印度引起茄子叶斑和茄果腐烂病^[8],在伊朗引起草莓叶斑病^[9]。在国内也有细极链格孢引起五味子黑斑病^[10]和枣缩果病^[11-12]

的报道。该病原菌除引起病害还能够产生交链格孢霉烯和链格孢酚等真菌毒素,严重威胁食品安全^[13]。

目前,新疆地区主要通过施用化学药剂防控红枣黑斑病,但缺少针对红枣黑斑病的高效药剂^[14]以及更加科学的施药方案。因此,本文针对防治红枣黑斑病的杀菌剂进行了单剂筛选和 Wadley 法复配研究,旨在为红枣黑斑病防治药剂的开发和田间应用提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试药剂

供试的 14 种杀菌剂均由中国农业大学植物病理学系种子病理与杀菌剂药理学研究室提供(表 1)。

表 1 供试杀菌剂信息^[15]
Table 1 Fungicides used in this study^[15]

药剂名称 Common name of fungicide	抑制类型 Mode of action	作用位点 Target site and code	组名 Group name
98%啉酰菌胺原药 boscalid 98% TC	呼吸作用 Respiration	复合体Ⅱ:琥珀酸半醛脱氢酶 ComplexⅡ: succinate-dehydrogenase	琥珀酸脱氢酶抑制剂(SDHI) Succinate-dehydrogenase inhibitors
98%嘧菌酯原药 azoxystrobin 98% TC		复合体Ⅲ:细胞色素群体 bc1 ComplexⅢ: cytochrome bc1	苯醌外部抑制剂(QoI) Quinone outside inhibitors
98.6%吡唑醚菌脂原药 pyraclostrobin 98.6% TC		(ubiquinol oxidase) at Qo site (cyt b gene)	
98.4%啉菌环胺原药 cyprodinil 98.4% TC	氨基酸和蛋白质合成 Amino acids and protein synthesis	蛋氨酸合成 Methionine biosynthesis	苯胺基嘧啶(AP) Anilino pyrimidines-fungicides
99.5%咯菌腈原药 fludioxonil 99.5% TC	信号转导 Signal transduction	MAP 组氨酸蛋白激酶信号转导 MAP/histidine-kinase in osmotic signal transduction (<i>os-2, HOG1</i>)	苯基吡咯(PP) Phenyl pyrroles-fungicides
99.5%异菌脲原药 iprodione 99.5% TC		MAP 组氨酸蛋白激酶信号转导 MAP/histidine-kinase in osmotic signal transduction (<i>os-1, Da f1</i>)	二甲酰亚胺 Dicarboximides
95%腐霉利原药 procymidone 95% TC			
98%咪鲜胺原药 prochloraz 98% TC			
99.8%咪鲜胺锰盐原药 prochloraz-manganese 99.8% TC			
93.5%氟硅唑原药 flusilazole 93.5% TC	细胞膜甾醇合成 Sterol biosynthesis in membranes	甾醇生物合成中脱甲基酶 C14-demethylase in sterol biosynthesis (<i>erg11/cyp51</i>)	脱甲基抑制剂(DMI) DeMethylation inhibitors
95.8%已唑醇原药 hexaconazole 95.8% TC			
93.5%丙环唑原药 propiconazole 93.5% TC			
96%苯醚甲环唑原药 difenoconazole 96% TC			
96%戊唑醇原药 tebuconazole 96% TC			

1.1.2 靶标病菌

引起红枣黑斑病的细极链格孢 *A. tenuissima* 菌株由塔里木大学植物科学学院提供。

1.1.3 培养基

PDA 培养基:马铃薯 200 g,葡萄糖 18 g,琼脂粉 14 g,去离子水 1 L。

水琼脂:琼脂粉 10 g,去离子水 1 L。

1.2 试验方法

1.2.1 菌株活化

将供试菌株接种在 PDA 平板上,28℃ 黑暗培养 5 d 后备用。

1.2.2 杀菌剂对 *A. tenuissima* 菌丝生长的影响

采用中华人民共和国农业行业标准 (NY/T1156.2-2006) 中的平皿菌丝生长抑制法进行试验^[16]。供试杀菌剂均以二甲基亚砜为溶剂配制为 1 000 μg/mL 的母液,再依次稀释为 100、10、1、0.5、0.1、0.01 和 0.001 μg/mL 7 个浓度,制成含药 PDA 平板。以添加等体积的溶剂和蒸馏水作为溶剂和空白对照。用直径 5 mm 的打孔器在靠近菌落边缘的同一圆周上打取菌饼并接种到不同浓度的含药 PDA 平板中央,每浓度 3 次重复。28℃ 黑暗培养 5 d,采用十字交叉法测定菌落直径,计算相对抑制率。

相对抑制率 = (对照菌落直径 - 处理菌落直径) / 对照菌落直径 × 100%;

以设定浓度的对数为横坐标(x),抑制率几率值为纵坐标(y),求出各药剂对供试病菌的毒力回归曲线方程 $y = ax + b$,决定系数 R^2 以及有效抑制中浓度 (EC_{50})。最后根据 EC_{50} ,分析比较不同杀菌剂对供试病菌菌丝生长的影响。

1.2.3 杀菌剂对 *A. tenuissima* 孢子萌发的影响

将 5 mm 的 *A. tenuissima* 菌饼菌丝面朝下接种到 PDA 平板中央,28℃ 黑暗培养 8 d,待菌丝铺满整个平板后加入 10 mL 无菌水洗脱孢子,用 4 层纱布过滤获得孢子悬浮液。加入无菌水制备成浓度为 1×10^6 个/mL 的分生孢子悬浮液^[17]。吸取 150 μL 分生孢子悬浮液均匀涂布在含不同浓度药剂的水琼脂平板上,25℃ 黑暗培养 6 h 后镜检(放大倍数 10×10),每浓度 3 次重复,每次重复调查 100 个分生孢子。孢子萌发的标准为芽管长超过孢子长度的一半^[18]。计算杀菌剂对红枣黑斑病菌分生孢子萌发的抑制率。

孢子萌发率 = (萌发孢子数 / 孢子总数) × 100%;

相对抑制率 = (对照组孢子萌发率 - 处理组孢子萌发率) / 对照组孢子萌发率 × 100%。

1.2.4 杀菌剂复配设计

根据供试杀菌剂单剂对菌丝生长和孢子萌发的 EC_{50} 测定结果,最终选取吡唑醚菌酯和戊唑醇进行

复配,评价药剂混用后的联合作用。将吡唑醚菌酯和戊唑醇按 2:8、3:7、4:6、5:5、6:4、7:3、8:2 等进行复配,测定复配剂对供试菌株菌丝生长和孢子萌发的 EC_{50} ,同时按 Wadley 法计算增效系数 (SR)。 $SR < 0.5$ 为拮抗作用, $0.5 \leq SR \leq 1.5$ 为相加作用, $SR > 1.5$ 为增效作用^[19]。

$SR = EC_{50(\text{理论})} / EC_{50(\text{实际})}$;

$$EC_{50(\text{理论})} = \frac{a+b}{\frac{a}{EC(A)_{50}} + \frac{b}{EC(B)_{50}}}$$

a 、 b 分别为相应单剂在复配剂中所占比例, A 、 B 分别为吡唑醚菌酯和戊唑醇。

2 结果与分析

2.1 供试杀菌剂单剂对 *A. tenuissima* 菌丝生长的影响

药剂对 *A. tenuissima* 菌丝生长的影响如表 2 所示。咯菌腈和啞菌环胺对菌丝生长的抑制效果最佳,其 EC_{50} 分别为 0.091 3 和 0.099 8 μg/mL;其次为异菌脲、咪鲜胺、己唑醇、吡唑醚菌酯、咪鲜胺锰盐、氟硅唑和苯醚甲环唑,其 EC_{50} 范围在 0.268 8 ~ 0.515 6 μg/mL;丙环唑、啞酰菌胺、腐霉利、啞菌酯和戊唑醇的 EC_{50} 范围在 1.188 8 ~ 3.256 1 μg/mL。

2.2 供试杀菌剂单剂对 *A. tenuissima* 孢子萌发的影响

供试药剂对 *A. tenuissima* 孢子萌发的影响如表 3 所示。其中,吡唑醚菌酯对孢子萌发的抑制效果最佳, EC_{50} 为 0.015 3 μg/mL;其次为啞酰菌胺, EC_{50} 为 0.293 4 μg/mL;啞菌酯、异菌脲、咯菌腈和腐霉利的 EC_{50} 范围在 1.692 4 ~ 4.016 4 μg/mL;啞菌环胺的 EC_{50} 为 19.134 μg/mL。7 种细胞膜甾醇合成抑制剂在供试浓度下对 *A. tenuissima* 孢子萌发均没有抑制效果。

2.3 供试杀菌剂复配药剂对 *A. tenuissima* 菌丝生长的影响

吡唑醚菌酯和戊唑醇的不同配比组合对 *A. tenuissima* 菌丝生长的影响如表 4 所示。除吡唑醚菌酯:戊唑醇 = 5:5 (w/w ,下同)表现出拮抗作用外,其余 6 种配比均表现出相加作用。其中吡唑醚菌酯:戊唑醇 = 8:2 时增效最明显,其 SR 值为 1.124 5;其次为 3:7 和 2:8 的配比组合,其 SR 值分别为 0.916 9 和 0.818 4;吡唑醚菌酯和戊唑醇的配比为 6:4、7:3 和 4:6 时相加作用不显著。

表 2 14 种杀菌剂对 *Alternaria tenuissima* 菌丝生长的影响

Table 2 Effect of 14 tested fungicides on *Alternaria tenuissima* mycelial growth

原药名称 Fungicide common name	毒力回归方程 Toxicity regression equation	R^2	EC_{50} (95%置信区间)/ $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ EC_{50} (95% fiducial limit)	原药名称 Fungicide common name	毒力回归方程 Toxicity regression equation	R^2	EC_{50} (95%置信区间)/ $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ EC_{50} (95% fiducial limit)
吡唑醚菌酯 pyraclostrobin	$y=0.548\ 0x+5.251\ 9$	0.901 0	0.346 9 (0.186 6~0.645 0)	氟硅唑 flusilazole	$y=0.998\ 4x+5.298\ 1$	0.951 0	0.502 5 (0.328 2~0.770 5)
啶酰菌胺 boscalid	$y=1.140\ 5x+4.905\ 8$	0.989 4	1.209 4 (0.998 4~1.465 0)	己唑醇 hexaconazole	$y=1.097\ 8x+5.537\ 0$	0.993 5	0.324 3 (0.266 8~0.394 0)
嘧菌酯 azoxystrobin	$y=0.208\ 3x+4.940\ 2$	0.966 2	1.937 8 (1.032 8~3.635 9)	咪鲜胺 prochloraz	$y=0.984\ 0x+5.555\ 7$	0.994 2	0.272 4 (0.235 1~0.315 7)
啉菌环胺 cyprodinil	$y=1.273\ 4x+6.274\ 5$	0.989 6	0.099 8 (0.081 6~0.122 0)	苯醚甲环唑 difenoconazole	$y=0.952\ 3x+5.274\ 0$	0.978 5	0.515 6 (0.369 4~0.719 8)
咯菌腈 fludioxonil	$y=1.339\ 8x+6.392\ 8$	0.991 6	0.091 3 (0.079 2~0.105 3)	咪鲜胺锰盐 prochloraz-difenoconazole	$y=1.078\ 2x+5.336\ 5$	0.991 6	0.487 4 (0.410 7~0.578 4)
异菌脲 iprodione	$y=0.664\ 1x+5.378\ 9$	0.971 9	0.268 8 (0.162 2~0.445 7)	丙环唑 propiconazole	$y=1.106\ 9x+4.916\ 9$	0.995 4	1.188 8 (1.046 8~1.350 1)
腐霉利 procymidone	$y=1.319\ 7x+4.629\ 7$	0.988 6	1.908 0 (1.512 8~2.406 5)	戊唑醇 tebuconazole	$y=0.803\ 7x+4.584\ 9$	0.957 3	3.256 1 (1.736 2~6.106 6)

表 3 14 种杀菌剂对孢子萌发的影响

Table 3 Effect of 14 tested fungicides on *Alternaria tenuissima* spore germination

原药名称 Fungicide common name	毒力回归方程 Toxicity regression equation	R^2	EC_{50} (95%置信区间)/ $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ EC_{50} (95% fiducial limit)	原药名称 Fungicide common name	毒力回归方程 Toxicity regression equation	R^2	EC_{50} (95%置信区间)/ $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ EC_{50} (95% fiducial limit)
吡唑醚菌酯 pyraclostrobin	$y=0.706\ 1x+6.282\ 5$	0.988 6	0.015 3 (0.011 1~0.021 0)	氟硅唑 flusilazole	—	—	供试浓度下无抑制效果
啶酰菌胺 boscalid	$y=0.958\ 3x+5.510\ 4$	0.993 1	0.293 4 (0.250 0~0.344 3)	己唑醇 hexaconazole	—	—	供试浓度下无抑制效果
嘧菌酯 azoxystrobin	$y=0.414\ 6x+4.905\ 3$	0.971 8	1.692 4 (1.168 3~2.451 5)	咪鲜胺 prochloraz	—	—	供试浓度下无抑制效果
啉菌环胺 cyprodinil	$y=0.263\ 4x+4.662\ 4$	0.734 0	19.134 0 (0.535 4~683.87)	苯醚甲环唑 difenoconazole	—	—	供试浓度下无抑制效果
咯菌腈 fludioxonil	$y=0.488\ 7x+4.712\ 2$	0.938 2	3.880 5 (1.270 1~11.85 6)	咪鲜胺锰盐 prochloraz-difenoconazole	—	—	供试浓度下无抑制效果
异菌脲 iprodione	$y=0.632\ 5x+4.656\ 0$	0.921 0	3.498 2 (1.323 8~9.243 8)	丙环唑 propiconazole	—	—	供试浓度下无抑制效果
腐霉利 procymidone	$y=1.287\ 4x+4.222\ 6$	0.990 2	4.016 4 (2.927 8~5.509 9)	戊唑醇 tebuconazole	—	—	供试浓度下无抑制效果

表 4 复配药剂对菌丝生长的影响

Table 4 Results of mixture fungicide affect mycelial growth

原药名称 Fungicide common name	比例 Ratio	毒力回归方程 Toxicity regression equation	R^2	EC_{50} (95%在置信区间)/ $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ EC_{50} (95% fiducial limit)	$EC_{50}/\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ (理论) EC_{50} (theoretical value)	SR
吡唑醚菌酯 pyraclostrobin	—	$y=0.548\ 0x+5.251\ 9$	0.901 0	0.346 9 (0.186 6~0.645 0)	—	—
戊唑醇 tebuconazole	—	$y=0.803\ 7x+4.584\ 9$	0.957 3	3.256 1 (1.736 2~6.106 6)	—	—
吡唑醚菌酯:戊唑醇 pyraclostrobin:tebuconazole	8:2	$y=0.498\ 8x+5.212\ 8$	0.957 4	0.374 4 (0.252 8~0.554 4)	0.421 1	1.124 5
吡唑醚菌酯:戊唑醇 pyraclostrobin:tebuconazole	7:3	$y=0.453\ 3x+5.021\ 9$	0.957 3	0.897 4 (0.579 8~1.380 7)	0.473 7	0.530 2
吡唑醚菌酯:戊唑醇 pyraclostrobin:tebuconazole	6:4	$y=0.423\ 3x+5.019\ 0$	0.981 7	0.901 9 (0.680 7~1.195 0)	0.539 5	0.596 2
吡唑醚菌酯:戊唑醇 pyraclostrobin:tebuconazole	5:5	$y=0.466\ 1x+4.881\ 8$	0.928 9	1.793 2 (0.901 3~3.567 8)	0.626 6	0.347 9
吡唑醚菌酯:戊唑醇 pyraclostrobin:tebuconazole	4:6	$y=0.558\ 2x+4.905\ 1$	0.983 9	1.479 1 (1.095 2~1.997 4)	0.747 2	0.505 2
吡唑醚菌酯:戊唑醇 pyraclostrobin:tebuconazole	3:7	$y=0.484\ 1x+4.998\ 1$	0.945 0	1.009 3 (0.606 3~1.680 3)	0.925 4	0.916 9
吡唑醚菌酯:戊唑醇 pyraclostrobin:tebuconazole	2:8	$y=0.527\ 6x+4.909\ 3$	0.943 6	1.485 5 (0.835 6~2.641 1)	1.215 1	0.818 4

2.4 供试杀菌剂复配药剂对 *A. tenuissima* 孢子萌发的影响

吡唑醚菌酯和戊唑醇的不同配比组合对 *A. tenuissima* 孢子萌发的影响如表 5 所示,其中吡唑醚

菌酯:戊唑醇=5:5时相加作用最为明显(*SR* 值=1.164 6),3:7、2:8、6:4和 4:6 4 个配比也表现为相加作用,其 *SR* 值分别为 0.901 0、0.798 3、0.720 2 和 0.520 6,而 8:2和 7:3表现为拮抗作用。

表 5 复配药剂对孢子萌发的影响
Table 5 Results of mixture fungicide affect spore germination

原药名称 Fungicide common name	比例 Ratio	毒力回归方程 Toxicity regression equation	<i>R</i> ²	EC ₅₀ (95%在置信区间)/ $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ EC ₅₀ (95% fiducial limit)	EC ₅₀ / $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ (理论) EC ₅₀ (theoretical value)	<i>SR</i>
吡唑醚菌酯 pyraclostrobin	—	$y=0.706\ 1x+6.282\ 5$	0.988 6	0.015 3 (0.011 1~0.021 0)	—	—
戊唑醇 tebuconazole	—	—	—	抑制效果较差	—	—
吡唑醚菌酯:戊唑醇 pyraclostrobin:tebuconazole	8:2	$y=1.135\ 3x+6.431\ 3$	0.985 1	0.054 8 (0.042 7~0.070 4)	0.019 1	0.348 6
吡唑醚菌酯:戊唑醇 pyraclostrobin:tebuconazole	7:3	$y=1.046\ 8x+6.243\ 3$	0.991 8	0.064 9 (0.054 2~0.077 7)	0.021 9	0.337 0
吡唑醚菌酯:戊唑醇 pyraclostrobin:tebuconazole	6:4	$y=0.902\ 8x+6.309\ 1$	0.973 6	0.035 5 (0.024 2~0.052 0)	0.025 5	0.720 2
吡唑醚菌酯:戊唑醇 pyraclostrobin:tebuconazole	5:5	$y=1.111\ 5x+6.756\ 0$	0.998 2	0.026 3 (0.023 6~0.029 3)	0.030 6	1.164 6
吡唑醚菌酯:戊唑醇 pyraclostrobin:tebuconazole	4:6	$y=1.030\ 3x+6.168\ 2$	0.816 9	0.073 5 (0.029 3~0.184 2)	0.038 2	0.520 6
吡唑醚菌酯:戊唑醇 pyraclostrobin:tebuconazole	3:7	$y=0.904\ 6x+6.128\ 8$	0.918 3	0.056 2 (0.030 7~0.104 0)	0.050 9	0.901 0
吡唑醚菌酯:戊唑醇 pyraclostrobin:tebuconazole	2:8	$y=0.890\ 6x+5.908\ 3$	0.985 7	0.095 5 (0.076 2~0.119 8)	0.076 4	0.798 3

3 结论与讨论

本研究选用 14 种杀菌剂单剂对 *A. tenuissima* 进行了菌丝生长和孢子萌发抑制试验,结果表明咯菌腈、啞菌环胺、异菌脲、咪鲜胺、己唑醇、吡唑醚菌酯、咪鲜胺锰盐、氟硅唑和苯醚甲环唑等 9 种药剂对 *A. tenuissima* 菌丝生长有抑制活性;吡唑醚菌酯和啖酰菌胺对病原菌孢子萌发有抑制效果;以三唑类为代表的麦角甾醇生物抑制剂对病原菌孢子萌发均没有明显的抑制效果,这与麦角甾醇生物合成抑制剂的作用机理相关,有研究认为麦角甾醇生物抑制剂对菌丝生长有显著影响,但不影响孢子萌发^[20]。这与本研究结果一致。

吡唑醚菌酯的作用机理是阻止呼吸作用复合物Ⅲ中细胞色素 b 和 c1 之间的电子传递,使线粒体无法为细胞提供能量而导致其死亡,达到杀死病原菌的目的。吡唑醚菌酯能抑制病原菌菌丝生长也能抑制孢子萌发,具有治疗、保护、铲除、强内吸性及耐雨水冲刷等特性^[21-22],已被用于许多真菌病害的防治,且在大豆^[23]、玉米^[24]及棉花^[25]等作物上的保健、增

产和促生作用被不断证明;戊唑醇是 1986 年德国拜耳公司开发的一种高效、广谱、低毒的三唑类杀菌剂,其作用机理是抑制真菌细胞壁中麦角甾醇中间体的氧化脱甲基反应从而抑制病原菌生长^[26],具有保护、治疗、铲除及持效期长等特性。

吡唑醚菌酯和戊唑醇均为高效、广谱、低毒的杀菌剂,且作用类型不同。本文选择这两种药剂进行复配,研究其单剂和复配剂对病原菌菌丝生长和孢子萌发的影响,采用 Wadley 法计算复配药剂的增效系数,最终获得了对 *A. tenuissima* 菌丝生长和孢子萌发抑制均表现出相加作用最优复配组合。

红枣黑斑病是近年来流行在新疆红枣产区的主要病害之一,对红枣的生产和品质造成了严重的影响,多种杀菌剂交替使用或运用复配药剂可以缓解由于长期施用单一杀菌剂产生的抗药性问题,延长杀菌剂的使用寿命。另一方面,戊唑醇的价格远低于吡唑醚菌酯,二者复配还能降低田间用药成本。本研究为红枣黑斑病的科学用药提供了理论支持。但在自然条件下,由于气候、施药时期和方式、药剂与病原菌的接触程度等因素,室内毒力测定试验的结果往往与田

间试验获得的结果有一定偏差。因此,本研究筛选出的单剂和混剂配比还需田间试验进一步验证。

参考文献

- [1] 池振江. 适于新疆红枣主要病虫害防治的生物农药筛选及应用[D]. 石河子:石河子大学,2014.
 - [2] SUN Liang, JIANG Juan. Effect of jujube extract on oxidative injury in heart muscles of exhausted training rats [J]. African Journal of Microbiology Research, 2011, 5(14): 1896–1899.
 - [3] 国家统计局. 红枣产量分省年度数据[DB/OL]. 2016. <http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=E0103>.
 - [4] 王兰, 冯宏祖, 支金虎, 等. 32.5%苯甲·嘧菌酯悬浮剂对枣黑斑病的室内毒力测定与田间防效试验[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(1): 134–135.
 - [5] 符泽. 新疆阿拉尔垦区矮化密植枣园红枣黑斑病发病规律的初步研究[D]. 石河子:石河子大学,2015.
 - [6] 李夏鸣, 郭黄萍, 胡增丽. 枣黑斑病研究[J]. 山西农业科学, 2009(11): 37–40.
 - [7] 董宁. 枣黑斑病症状表现、病菌分析及室内药剂筛选[D]. 阿拉尔:塔里木大学,2015.
 - [8] RAJA P, REDDY A V R, ALLAM U S. First report of *Alternaria tenuissima* causing leaf spot and fruit rot on eggplant (*Solanum melongena*) in India[J]. Plant Pathology, 2006, 55(4): 579.
 - [9] BAGHERABADI S, ZAFARI D, SOLEIMANI M J. First Report of leaf spot of strawberry caused by *Alternaria tenuissima* in Iran [J]. Journal of Plant Pathology & Microbiology, 2015, 6(3): 258.
 - [10] 许伟民, 谢昀烨, 王春伟, 等. 北五味子黑斑病的药剂防治[J]. 吉林农业大学学报, 2013(5): 520–529.
 - [11] 郑晓莲, 赵光耀, 茆正川, 等. 枣缩果病原诊断初报[J]. 植物保护, 1995, 32(2): 19–21.
 - [12] 郑晓莲, 齐秋锁, 赵光耀, 等. 枣缩果病初侵染来源的初步研究[J]. 河北农业大学学报, 1995, 18(4): 59–63.
 - [13] TANČINOVÁ D, MAŠKOVÁ Z, RYBÁŘIK L, et al. Colonization of grapes berries by *Alternaria* sp. and their ability to produce mycotoxins [J]. Potravinárstvo, 2016, 10(1): 7–13.
 - [14] 蔡龙. 红枣黑斑病发病研究及药剂防治试验[J]. 山西果树, 2013(3): 3–5.
 - [15] Fungicide Resistance Action Committee. Fungicides sorted by mode of action (including FRAC Code numbering) [J/OL]. [2018–2]. <http://www.frac.info/publications/downloads>.
 - [16] 农业部农药检定所. NY/T1156. 2–2006, 抑制病原真菌菌丝生长试验平皿法[S]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 1–2.
 - [17] 陈凤平, 韩平, 张真真, 等. 啉菌唑对番茄灰霉病菌的抑菌作用研究[J]. 农药学报, 2010(1): 42–48.
 - [18] 古丽皮艳, 韩青梅, 王兰. 不同杀菌剂对玉米弯孢叶斑病的毒力测定[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2005, 33(S1): 49–52.
 - [19] 耿忠义, 赵京岚, 孙国波, 等. 腈菌唑与甲基硫菌灵对苹果轮纹病等 3 种病菌混配增效作用研究[J]. 中国农学通报, 2010(18): 297–300.
 - [20] SIEGEL M R. Sterol-inhibiting fungicides: effects on sterol biosynthesis and sites of action [J]. Plant Disease, 1981, 65(12): 986–989.
 - [21] BAYLIS A. Agrochemicals coming off-patent 2012–2016 [R]. London: Informa UK Ltd, 2011: 68–70.
 - [22] 杨丽娟, 柏亚罗. 甲基丙烯酸酯类杀菌剂—吡唑醚菌酯[J]. 现代农药, 2012(4): 46–50.
 - [23] 陈雨, 张爱芳, 夏本勇, 等. 吡唑醚菌酯对大豆炭疽病防效及保健增产作用[J]. 农药, 2011(9): 697–699.
 - [24] 于晓丽, 王培松, 巴信斌, 等. 17.2%吡唑醚菌酯·氟环唑悬浮乳剂对玉米的防病保健作用[J]. 安徽农业科学, 2015(25): 92–95.
 - [25] 陈雨, 张爱芳, 於春, 等. 吡唑醚菌酯对棉花炭疽病的防效及保健增产作用[J]. 中国棉花, 2011(6): 24–26.
 - [26] 华乃震. 杀菌剂戊唑醇的剂型与应用[J]. 农药, 2013, 52(11): 781–786.
- (责任编辑: 杨明丽)
-
- (上接 262 页)
- [18] 何建群, 陈贵芸, 李靖军, 等. 白粉病对亚麻原茎和种子产量、质量的影响[J]. 中国麻业科学, 2006(6): 317–321.
 - [19] 刘淑霞, 潘冬梅, 魏国江, 等. 黑龙江省亚麻白粉病发生特点及防治措施[J]. 黑龙江科学, 2011, 2(4): 53–54.
 - [20] 何建群, 张金莲, 张玲. 40%氟硅唑 EC 对亚麻白粉病的防治效果研究[J]. 中国麻业科学, 2011, 33(1): 8–10.
 - [21] 马海灵. 5 种药剂对胡麻白粉病的防效试验[J]. 甘肃农业科技, 2014(1): 16–17.
 - [22] 国家胡麻产业技术体系. 中国现代农业产业可持续发展战略研究-胡麻分册[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016: 167–171.
 - [23] 牛俊义, 谢亚萍. 胡麻生长发育与氮营养规律[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2017: 1–188.
 - [24] ALY A A, MANSOUR M T M, MOHAMED H I, et al. Examination of correlations between several biochemical components and powdery mildew resistance of flax cultivars [J]. Plant Pathology Journal, 2012, 28(2): 149–155.
 - [25] YOU F M, JIA G, XIAO J, et al. Genetic variability of 27 traits in a core collection of flax (*Linum usitatissimum* L.) [J]. Frontiers in Plant Science, 2017(8): 1–12.
 - [26] RASHID K. Resistance in flax cultivars and genotypes to powdery mildew [EB/OL]. (2017–10–24)[2018–9–19]. https://umanitoba.ca/faculties/afs/agronomists_conf/media/Rashid_MAC_PM_2017_Poster_Oct_24_2017_Portrait_LONG.pdf.
- (责任编辑: 杨明丽)