

江苏省葡萄炭疽病菌群体对 4 种杀菌剂的敏感性

闫莉春, 钱亚明, 王西成, 王壮伟, 王 博, 吴伟民*

(江苏省农业科学院果树研究所, 江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室, 南京 210014)

摘要 为明确江苏省葡萄炭疽病菌 *Colletotrichum gloeosporioides* 群体对苯醚甲环唑、吡唑醚菌酯、咯菌腈和戊唑醇 4 种杀菌剂的敏感性和抗性水平, 本研究采用菌丝生长速率法测定了来自江苏省 7 个地区的 68 株葡萄炭疽病菌对上述 4 种药剂的敏感性, 建立敏感基线, 并分析菌株抗性水平和抗性频率。结果表明: 苯醚甲环唑、吡唑醚菌酯、咯菌腈和戊唑醇对供试 68 株葡萄炭疽病菌的 EC_{50} 范围分别为 0.03~1.20、0.05~3.48、0.14~1.20 mg/L 和 0.50~12.30 mg/L; 对苯醚甲环唑、吡唑醚菌酯和咯菌腈的敏感基线分别为 (0.53 ± 0.032) 、 (1.00 ± 0.15) mg/L 和 (0.38 ± 0.024) mg/L。68 株菌株对戊唑醇的 EC_{50} 平均值为 3.61 mg/L, 因敏感性频率分布不符合建立敏感性基线要求, 故未建立敏感性基线。供试菌株对苯醚甲环唑均表现为敏感, 对吡唑醚菌酯和咯菌腈呈现一定的低抗水平, 抗性频率分别为 4.41% 和 3.03%; 对戊唑醇呈低抗和中抗水平, 抗性频率分别为 16.18% 和 5.88%。该研究为防控江苏省葡萄炭疽病提供了理论指导。

关键词 葡萄炭疽病菌; 杀菌剂; 抗药性

中图分类号: S 436.631.15 文献标识码: A DOI: 10.16688/j.zwbh.2021692

Sensitivity of *Colletotrichum gloeosporioides* from grapevine to four fungicides in Jiangsu province

YAN Lichun, QIAN Yaming, WANG Xicheng, WANG Zhuangwei, WANG Bo, WU Weimin*

(Institute of Pomology, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Jiangsu Key Laboratory for Horticultural Crop Genetic Improvement, Nanjing 210014, China)

Abstract To evaluate the sensitivity and resistance level of *Colletotrichum gloeosporioides* from Jiangsu province to difenoconazole, pyraclostrobin, fludioxonil and tebuconazole, a total of 100 samples of the infected fruits of grape were collected from seven different regions in Jiangsu province, after isolation and purification, 68 strains were obtained. The sensitivity of the 68 isolates to the four fungicides was determined using mycelial growth rate method. The results showed that the EC_{50} values of difenoconazole, pyraclostrobin, fludioxonil and tebuconazole to the 68 strains ranged from 0.03 to 1.20 mg/L, 0.05 to 3.48 mg/L, 0.14 to 1.20 mg/L and 0.50 to 12.3 mg/L, respectively. The sensitivity baseline of *C. gloeosporioides* to difenoconazole, pyraclostrobin and fludioxonil was (0.53 ± 0.032) mg/L, (1.00 ± 0.15) mg/L and (0.38 ± 0.024) mg/L, respectively. The average EC_{50} value of tebuconazole was 3.61 mg/L, but the sensitivity baseline of *C. gloeosporioides* to tebuconazole was not established, because of frequency distribution of EC_{50} values of 68 strains did not meet the requirements for establishing the sensitivity baseline. The tested strains were all sensitive to difenoconazole, low-resistant to pyraclostrobin and fludioxonil with resistant rates of 4.41% and 3.03%, respectively, and low-resistant and medium-resistant to tebuconazole with resistant rates of 16.18% and 5.88%, respectively. This study would provide a reference for reasonable use of fungicides and theoretical basis for scientific prevention and control of grape ripe rot in Jiangsu.

Key words *Colletotrichum gloeosporioides*; fungicide; resistance

葡萄 *Vitis vinifera* L. 是江苏省主要种植水果之一, 种植面积达到 4 万 hm^2 , 为江苏省农业经济发

展和农民增收贡献了重要力量^[1]。随着种植面积的不断扩大, 葡萄炭疽病在我国已广泛流行, 尤其是在

收稿日期: 2021-12-09

修订日期: 2022-03-10

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金(CX(20)2022); 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系(CARS-29)

* 通信作者 E-mail: 5wm@163.com

江苏等东部和南部温湿度较高的地区,有些年份发病非常严重,已成为限制葡萄产业发展的主要障碍^[2]。葡萄炭疽病主要危害着色期或近成熟期的果实,受害初期果粒上产生褐色圆形小斑点,后逐渐扩大并在表面形成粉红色黏性物,严重时病斑扩展至半个或整个果粒,引起果实腐烂,严重影响果实品质和产量^[3]。在我国,引起葡萄炭疽病的病原是胶孢炭疽菌 *Colletotrichum gloeosporioides* 复合种,目前尚无尖孢炭疽菌 *C. acutatum* 在我国引起葡萄炭疽病的相关报道^[4-6]。

由于缺乏有效的抗病品种,化学防治仍然是目前防治葡萄炭疽病的主要方式,生产上常用的杀菌剂主要包括保护性杀菌剂和内吸性杀菌剂^[7-8]。然而,长期频繁使用同类型杀菌剂,容易使病原菌产生抗药性,导致药剂防治效果降低甚至丧失。杨敬辉等发现江苏丘陵地区葡萄炭疽病菌种群对多菌灵的抗性菌株比率从 2013 年的 2.34% 上升到 2017 年的 32.21%,表明该地区病原菌对多菌灵已形成抗药性流行^[9]。陈聃等报道对甲基硫菌灵高抗和对戊唑醇低抗的葡萄炭疽菌株已出现^[10]。徐杰等报道辽宁地区已出现对戊唑醇和代森锰锌表现为中低抗水平的葡萄炭疽病菌^[11]。本课题组前期在江苏省各地调研葡萄炭疽病防控时发现,苯醚甲环唑、吡唑醚菌酯、咯菌腈和戊唑醇是农户在生产中使用频率较高的 4 种杀菌剂,为了明确这 4 种杀菌剂的防控效果,本研究测定了 2020 年从江苏省 7 个地区采集的 68

株葡萄炭疽病菌对这 4 种杀菌剂的敏感性,建立了江苏省葡萄炭疽病菌对苯醚甲环唑、吡唑醚菌酯和咯菌腈的敏感基线,并明确了江苏省葡萄炭疽病菌对 4 种杀菌剂的抗性水平,为江苏省葡萄炭疽病的合理用药及防控提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试菌株:2020 年 7 月—9 月,分别从江苏南京、盐城、镇江、泰州、徐州、江阴、连云港等 7 个地区共采集发病葡萄果实样品 100 份,经过分离纯化共获得葡萄炭疽病菌 68 株,转移至马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)斜面培养基上,于 4℃ 冰箱中保存备用。供试菌株经多基因 PCR 联合鉴定均为胶孢炭疽菌复合种 *Colletotrichum gloeosporioides* (未发表数据)。采样葡萄品种包括‘夏黑’‘阳光玫瑰’‘白罗莎’和‘魏可’。菌株详细信息见表 1。

供试药剂:99% 吡唑醚菌酯原药和 98% 苯醚甲环唑原药购于上海市农药研究有限公司;96% 戊唑醇和 97% 咯菌腈标准品购于北京振翔科技有限公司。所有药剂均溶于二甲基亚砜(DMSO)配制成 10 mg/mL 的母液,贮存于 4℃ 冰箱备用。

PDA 培养基:称取 200 g 马铃薯洗净去皮并切成小块,加水煮烂,用两层纱布过滤,加入 20 g 葡萄糖,15 g 琼脂,补足 1 000 mL 无菌水,分装并高压蒸汽灭菌后备用。

表 1 供试葡萄炭疽病菌菌株及其来源

Table 1 Isolates and sources of *Colletotrichum gloeosporioides* from grapevine

采集地点 Collection region		菌株编号 Isolate no.	菌株数/株 Number of isolates	寄主品种 Host cultivar
盐城	Yancheng	YC-1, YC-2, YC-3, YC-4, YC-5, YC-6, YC-7, YC-9, YC-10	9	白罗莎
		YC-12, YC-14, YC-15	3	魏可
镇江	Zhengjiang	ZJ-1, ZJ-2, ZJ-3, ZJ-4, ZJ-5	5	夏黑
江阴	Jiangyin	JY-1, JY-2, JY-4, JY-38, JY-39, JY-41, JY-43, JY-44, JY45-1, JY45-2, JY45-3, JY-46, JY-47, JY-48, JY-49, JY50-1	16	白罗莎
		JY-14, JY-16, JY-17, JY-19, JY19-1, JY19-2, JY19-3, JY-25, JY25-1	9	阳光玫瑰
南京	Nanjing	NJ-1, NJ-2, NJ-3, NJ-4, NJ-5, NJ-6	6	夏黑
泰兴	Taixing	TX-1, TX-2, TX-3, TX-5, TX-7, TX-8, TX-9, TX-10	8	夏黑
连云港	Lianyungang	LYG-1, LYG-2, LYG-3, LYG-4, LYG-5, LYG-6, LYG-7, LYG-8	8	白罗莎
徐州	Xuzhou	XZ-1, XZ-2, XZ-3, XZ-4	4	夏黑

1.2 试验方法

1.2.1 江苏省葡萄炭疽病菌对 4 种杀菌剂的敏感性测定

采用菌丝生长速率法测定供试菌株对 4 种杀菌

剂的敏感性。将葡萄炭疽病菌于 26℃ 恒温培养箱培养 7 d,在菌落边缘打取菌龄一致直径 5 mm 的菌盘,转移至含系列浓度的不同药剂 PDA 平板中央,以添加 DMSO 的作为阴性对照。其中苯醚甲环唑

的浓度梯度设为 0.25、0.5、1.0、2.0、4.0 mg/L;吡唑醚菌酯的浓度梯度设为 0.64、1.6、4.0、10、25 mg/L;咯菌腈的浓度梯度设为 0.64、1.6、4.0、10、25 mg/L;戊唑醇的浓度梯度设为 0.05、0.5、1.0、2.5、5.0 mg/L。每个处理重复 3 次,置于 26℃ 恒温培养箱中黑暗培养,待对照组菌丝铺满平板时用十字交叉法测量各处理的菌落直径,计算各浓度药剂对炭疽病菌菌丝生长的抑制率,并以药剂浓度的对数值为横坐标,抑制率为纵坐标,计算供试药剂对每个菌株的毒力回归方程、相关系数和有效抑制中浓度 EC_{50} 。本试验重复 2 次。

1.2.2 葡萄炭疽病菌对 4 种杀菌剂敏感基线的建立

分别将 1.2.1 获得的 4 种杀菌剂对 68 株菌株的 EC_{50} 从低到高排列,设置相应的区间间隔,统计供试菌株 EC_{50} 在各个区间的频率,绘制供试菌株对 4 种杀菌剂的敏感性频率分布图,并对数据进行 Shapiro-Wilk 正态性检验,若符合正态分布,则可将供试菌株的平均 EC_{50} 作为江苏地区葡萄炭疽病菌对该药剂的敏感基线^[12]。

1.2.3 葡萄炭疽病菌抗药性水平划分及抗性频率统计

抗性水平(抗性倍数)=菌株 EC_{50} /敏感性基线,抗性水平划分参照潘夏艳等^[13]的划分标准并略作修改。抗性水平 ≤ 3 为敏感菌株(sensitive, S); $3 <$ 抗性水平 ≤ 5 为低抗菌株(lowly resistant, LR); $5 <$ 抗性水平 ≤ 10 为中抗菌株(moderately resistant, MR);抗性水平 > 10 为高抗菌株(highly resistant, HR)。抗性频率=抗药性菌株数/总菌株数 $\times 100\%$,统计菌群对各药剂的抗性频率。

基于 1.2.2 的研究结果,采用区分剂量法分析菌株对戊唑醇的抗性水平。在含 5.0 mg/L 戊唑醇的 PDA 平板上不能正常生长的菌株为敏感菌株,能在 5.0 mg/L 平板上正常生长而不能在 10.0 mg/L 平板上生长的菌株为低抗菌株,能在 10.0 mg/L 平板上正常生长而不能在 20.0 mg/L 平板上生长的为中抗菌株,能在高于 20.0 mg/L 平板上生长的菌株为高抗菌株^[10]。

1.2.4 数据分析

采用 Excel 软件进行数据统计和菌丝生长抑制

率的计算,采用 DPS 软件进行毒力回归方程、相关系数和有效抑制中浓度 EC_{50} 的计算;采用 SPSS 18 软件进行 Shapiro-Wilk 正态性检验。

2 结果与分析

2.1 葡萄炭疽病菌对 4 种杀菌剂的敏感性

苯醚甲环唑、吡唑醚菌酯、咯菌腈和戊唑醇对供试 68 株葡萄炭疽病菌的 EC_{50} 分别介于 0.03~1.20、0.05~3.48、0.14~1.20 mg/L 和 0.52~12.30 mg/L,最小和最大的 EC_{50} 分别相差 37.5、69.6、8.6 倍和 23.6 倍,平均 EC_{50} 分别为(0.53 $\pm$ 0.13)(1.37 $\pm$ 0.56)(0.45 $\pm$ 0.26)mg/L 和(3.61 $\pm$ 1.84) mg/L(图 1)。

2.2 葡萄炭疽病菌对 4 种杀菌剂敏感基线的建立

供试 68 株炭疽病菌对苯醚甲环唑的敏感性频率分布符合正态分布($W=0.925$, $P=0.062 > 0.05$)(图 2a),因此将平均 EC_{50} 0.53 mg/L 作为江苏省葡萄炭疽病菌对苯醚甲环唑的敏感基线。

供试 68 株炭疽菌株对吡唑醚菌酯的敏感性频率分布呈连续单峰曲线,表现为不对称的正态分布,表明葡萄炭疽病菌对吡唑醚菌酯的敏感性已产生了分化(图 2b)。其中 68 株菌株中有 54 株位于主峰范围内,占总数的 79.41%,表明大多数葡萄炭疽病菌对吡唑醚菌酯仍敏感,并且这些菌株的 EC_{50} 值分布符合正态分布($W=0.965$, $P=0.074 > 0.05$),因此将该主峰内 EC_{50} 平均值 1.00 mg/L 作为江苏省葡萄炭疽病菌对吡唑醚菌酯的敏感基线。

供试 68 株炭疽菌株对咯菌腈的敏感性频率分布呈连续单峰曲线,曲线右侧具有拖尾现象,表明部分菌株对咯菌腈具有一定的抗性。其中有 89.71% 的菌株位于主峰范围且符合正态分布($W=0.973$, $P=0.082 > 0.05$),通过计算,求得正态分布峰内菌株的平均 EC_{50} 是 0.38 mg/L(图 2c)。因此,将 EC_{50} 平均值 0.38 mg/L 作为江苏省葡萄炭疽病菌对咯菌腈的敏感基线。

供试 68 株葡萄炭疽病菌对戊唑醇的敏感性频率分布呈现多峰曲线,且只有 65% 的菌株集中在主峰内,表明炭疽病菌对戊唑醇的敏感性存在显著差异,因此本研究未建立江苏省葡萄炭疽病菌对戊唑醇的敏感基线(图 2d)。

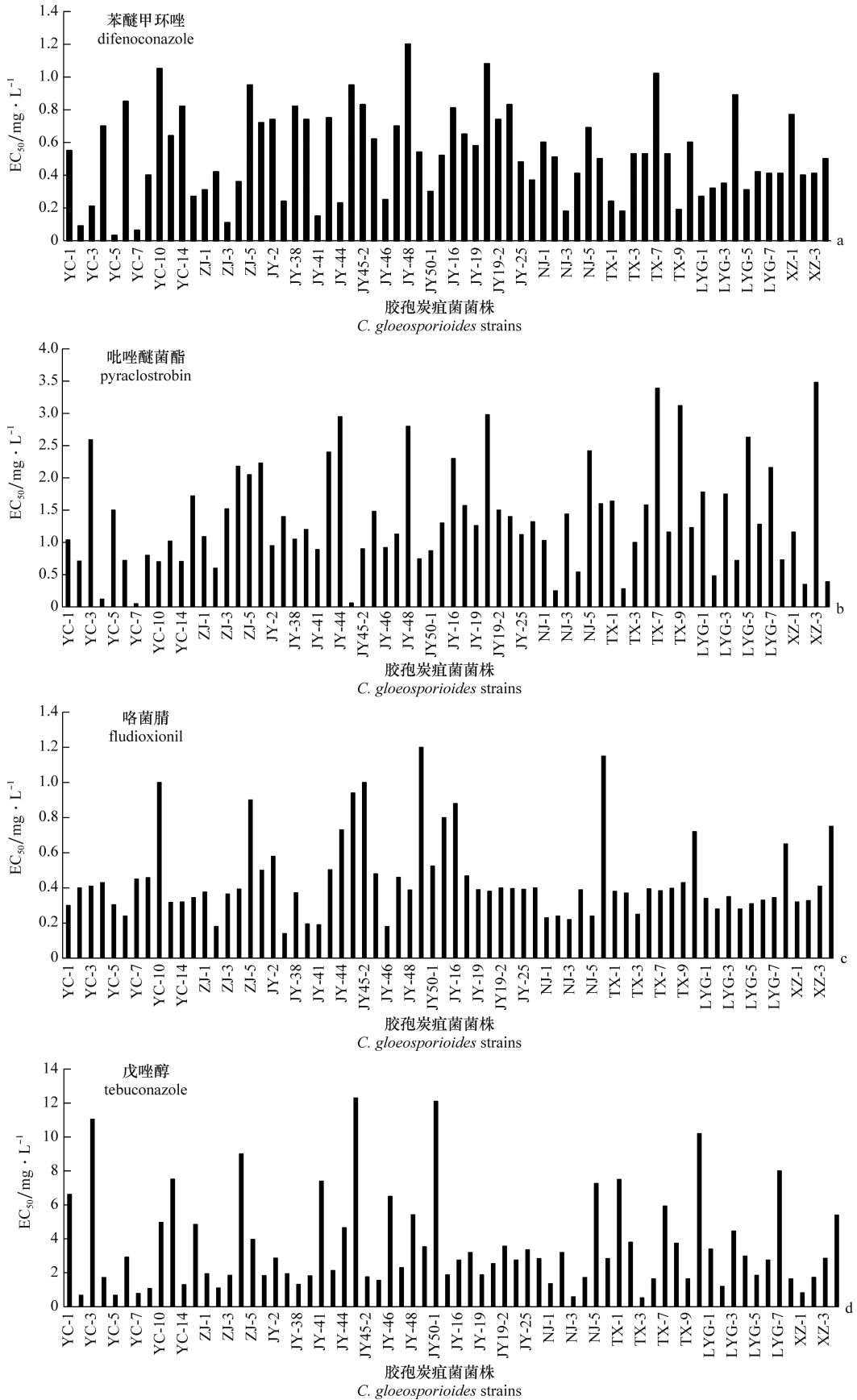


图 1 胶孢炭疽菌菌株对苯醚甲环唑、吡唑醚菌酯、咯菌腈和戊唑醇的 EC_{50} 值

Fig. 1 EC_{50} values of *Colletotrichum gloeosporioides* strains from grapevine to difenoconazole, pyraclostrobin, fludioxonil and tebuconazole

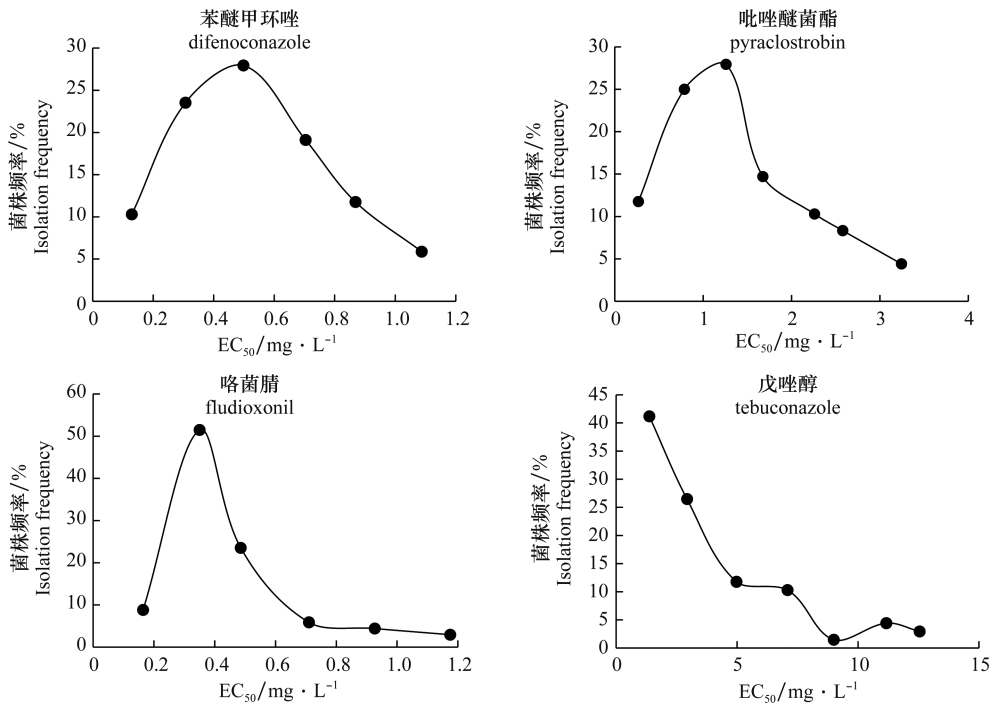


图 2 供试 68 株葡萄炭疽病菌对 4 种药剂的敏感性频率分布

Fig. 2 Frequency distribution of EC_{50} values of 68 *Colletotrichum gloeosporioides* isolates from grapevine to four fungicides

2.3 葡萄炭疽病菌对 4 种杀菌剂的抗性水平分析

利用本研究确定的葡萄炭疽病菌对苯醚甲环唑的敏感性基线对供试 68 株葡萄炭疽菌进行抗性水平分析。经分析发现,江苏省 68 个菌株的 EC_{50} 均小于敏感基线的 3 倍,未发现抗性菌株。按照地区分析,平均 EC_{50} 最高(0.63 mg/L)的地区为江阴市,最低(0.42 mg/L)的为连云港市;最小 EC_{50} (0.03 mg/L) 出现在盐城市,最大 EC_{50} (1.20 mg/L) 出现在江阴市(表 2)。总体看来,江苏省炭疽病菌对苯醚甲环

唑处于敏感水平,葡萄生产中苯醚甲环唑可作为常用杀菌剂防治葡萄炭疽病。

基于本研究确定的葡萄炭疽病菌对吡唑醚菌酯的敏感基线,对 68 株供试菌株进行抗性水平鉴定。鉴定结果表明,供试菌株对吡唑醚菌酯处于敏感或低抗水平。供试 68 株菌株中,敏感菌株 65 株,低抗菌株 3 株,无中抗和高抗菌株。其中泰兴 8 株菌株中有 2 株低抗菌株,徐州 4 株菌株中有 1 株低抗菌株(表 3)。

表 2 江苏不同种植区的葡萄炭疽病菌对苯醚甲环唑的抗性水平

葡萄种植区 Collection place		菌株数/株 Number of isolates	EC_{50} 范围/ $mg \cdot L^{-1}$ Range of EC_{50}	平均 EC_{50} / $mg \cdot L^{-1}$ Average EC_{50}	抗性水平 Resistant level			
					敏感 S	低抗 LR	中抗 MR	高抗 HR
盐城	Yancheng	12	0.03~1.05	0.47	12	0	0	0
江阴	Jiangyin	25	0.15~1.20	0.63	25	0	0	0
泰兴	Taixing	8	0.18~1.02	0.48	8	0	0	0
镇江	Zhenjiang	5	0.11~0.95	0.43	5	0	0	0
南京	Nanjing	6	0.18~0.69	0.48	6	0	0	0
连云港	Lianyungang	8	0.27~0.89	0.42	8	0	0	0
徐州	Xuzhou	4	0.40~0.77	0.52	4	0	0	0
合计	Total	68	0.03~1.20	0.53	68	0	0	0

表 3 江苏不同种植区的葡萄炭疽病菌对吡唑醚菌酯的抗性水平

Table 3 Resistance level of <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> to pyraclostrobin in different viticulture regions in Jiangsu								
葡萄种植区 Collection place		菌株数/株 Number of isolates	EC ₅₀ 范围/ mg · L ⁻¹ Range of EC ₅₀	平均 EC ₅₀ / mg · L ⁻¹ Average EC ₅₀	抗性水平		Resistant level	
					敏感 S	低抗 LR	中抗 MR	高抗 HR
盐城	Yancheng	12	0.05~2.59	0.97	12	0	0	0
江阴	Jiangyin	25	0.06~2.80	1.47	25	0	0	0
泰兴	Taixing	8	0.28~3.39	1.68	6	2	0	0
镇江	Zhenjiang	5	0.60~2.18	1.49	5	0	0	0
南京	Nanjing	6	0.25~2.42	1.21	6	0	0	0
连云港	Lianyungang	8	0.48~2.63	1.44	8	0	0	0
徐州	Xuzhou	4	0.35~3.48	1.35	3	1	0	0
合计	Total	68	0.05~3.48	1.37	65	3	0	0

根据本研究建立的葡萄炭疽病菌对咯菌腈的敏感基线,对 68 株葡萄炭疽菌进行抗性水平鉴定。结果表明,江阴和南京各有 1 株菌株对咯菌腈表现为低抗,其他地区菌株均表现为敏感,无抗性菌株,对咯菌腈的总抗性频率为 3.03%(表 4)。

根据陈聃等^[10]的炭疽病菌对戊唑醇的敏感基线,对 68 株炭疽菌株进行抗性水平分析。研究发现,在 68 个供试菌株中,敏感菌株有 53 株,出现频率为 77.94%;低抗菌株 11 株,出现频率为

16.18%;中抗菌株 4 株,出现频率为 5.88%,未发现高抗菌株(表 5)。其中镇江、南京、连云港和徐州地区均出现 1 株低抗菌株;江阴 25 株菌株中出现低抗菌株 3 株,中抗菌株 2 株;盐城 12 株菌株中出现 2 株低抗菌株和 1 株中抗菌株;泰兴 5 株菌株中出现 2 株低抗菌株和 1 株中抗菌株(表 5)。

从 EC₅₀ 值分布分析,江阴和盐城地区存在抗性较高的菌株,EC₅₀ 值最高分别达到 12.30 mg/L 和 11.05 mg/L。

表 4 不同种植区的葡萄炭疽病菌对咯菌腈的抗性水平

Table 4 Resistance level of <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> to fludioxonil in different viticulture regions								
葡萄种植区 Collection place		菌株数/株 Number of isolates	EC ₅₀ 范围/ mg · L ⁻¹ Range of EC ₅₀	平均 EC ₅₀ / mg · L ⁻¹ Average EC ₅₀	抗性水平 Resistant level			
					敏感 S	低抗 LR	中抗 MR	高抗 HR
盐城	Yancheng	12	0.24~1.00	0.41	12	0	0	0
江阴	Jiangyin	25	0.14~1.20	0.52	24	1	0	0
泰兴	Taixing	8	0.25~0.72	0.42	8	0	0	0
镇江	Zhenjiang	5	0.18~0.90	0.44	5	0	0	0
南京	Nanjing	6	0.22~1.15	0.41	5	1	0	0
连云港	Lianyungang	8	0.28~0.65	0.36	8	0	0	0
徐州	Xuzhou	4	0.32~0.75	0.45	4	0	0	0
合计	Total	68	0.14~1.20	0.45	66	2	0	0

表 5 江苏不同种植区的葡萄炭疽病菌对戊唑醇的抗性水平

Table 5 Resistance frequency of <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> to tebuconazole in different viticulture regions in Jiangsu								
葡萄种植区 Collection place		菌株数/株 Number of isolates	EC ₅₀ 范围/ mg · L ⁻¹ Range of EC ₅₀	平均 EC ₅₀ / mg · L ⁻¹ Average EC ₅₀	抗性水平 Resistant level			
					敏感 S	低抗 LR	中抗 MR	高抗 HR
盐城	Yancheng	12	0.78~11.05	3.68	9	2	1	0
江阴	Jiangyin	25	1.32~12.30	3.78	20	3	2	0
泰兴	Taixing	8	0.52~10.20	4.37	5	2	1	0
镇江	Zhenjiang	5	1.10~9.00	3.57	4	1	0	0
南京	Nanjing	6	0.58~7.27	2.83	5	1	0	0
连云港	Lianyungang	8	1.20~8.00	3.29	7	1	0	0
徐州	Xuzhou	4	0.82~5.40	2.70	3	1	0	0
合计	Total	68	0.52~12.30	3.61	53	11	4	0

3 结论与讨论

本研究通过菌丝生长速率法测定了江苏省葡萄炭疽菌株对苯醚甲环唑、吡唑醚菌酯、咯菌腈和戊唑醇 4 种杀菌剂的敏感性和抗性,并建立了葡萄炭疽病菌对苯醚甲环唑、吡唑醚菌酯和咯菌腈的敏感基线。抗性水平研究结果表明,江苏省葡萄炭疽病菌对苯醚甲环唑表现为敏感,未发现抗性菌株,说明苯醚甲环唑可作为常规药剂用于江苏省葡萄炭疽病的防治。苯醚甲环唑属于麦角甾醇生物合成抑制剂(EBIS)中重要的一类杀菌剂,其作用原理是通过抑制细胞膜抑制细胞生长,造成细胞形态学和新陈代谢改变^[14]。因其优异的防治效果,已被广泛用于植物炭疽病的防治^[7,15]。但由于苯醚甲环唑属于单一位点杀菌剂,目前已有多种作物炭疽病菌对其产生了抗药性,例如芒果炭疽病菌、草莓炭疽病菌和杨树炭疽病菌对苯醚甲环唑出现抗药性^[16-18]。本研究葡萄炭疽病菌对苯醚甲环唑均表现敏感,可能与用药年限和剂量有关,因此在生产中应更加注重农药使用量和使用方法等,以延缓葡萄炭疽病菌对苯醚甲环唑抗药性的形成。

咯菌腈属于苯吡咯类杀菌剂,是一种新型的高效广谱内吸性杀菌剂。目前,咯菌腈的作用机制主要被认为与抑制 PK III 激酶和葡萄糖磷酸化相关的转运过程有关,从而影响渗透压调节相关的信号转导途径,进而起到杀菌作用^[19]。咯菌腈常用来防治作物灰霉病、炭疽病等多种真菌病害,具有良好的防治效果^[20-22]。本研究中供试菌株对咯菌腈的抗性频率为 3.03%,均表现为低抗,说明绝大部分菌株对咯菌腈仍表现敏感。目前关于葡萄炭疽病菌对咯菌腈抗药性的研究还鲜有报道,仅有报道番茄灰霉病菌和草莓灰霉病菌对咯菌腈产生了抗药性,说明在生产上单一、不合理的用药可能会加剧该类药剂产生抗药性^[23-24]。

江苏省葡萄炭疽病菌已经对吡唑醚菌酯和戊唑醇产生抗性,抗性频率分别为 4.41% 和 22.06%。吡唑醚菌酯属于甲氧基丙烯酸酯类(QoIs),其作用机制主要是通过特异性结合线粒体呼吸链中细胞色素 bc₁ 复合物的 Q_o 位点(泛醌氧化位点),阻碍电子传递,抑制线粒体的呼吸作用,进而抑制孢子萌发、游动孢子的释放和游动。吡唑醚菌酯是防治作

物炭疽病的传统药剂,研究者为了提高其防治效果,开展了多项药剂混配等研究。研究结果表明,吡唑醚菌酯与苯醚甲环唑以质量比 3:2 混配对核桃炭疽病防治具有较好的增效作用,吡唑醚菌酯与苯醚甲环唑以质量比 1:1 对槟榔炭疽病防治增效最为明显^[25-26]。因此,可开展吡唑醚菌酯与不同药剂的混配试验,提高对葡萄炭疽病的防效。戊唑醇与苯醚甲环唑同属于麦角甾醇生物合成抑制剂,该类药剂作用位点单一,可能是产生抗药性菌株的重要原因。由于戊唑醇在田间的广泛应用加之使用时间较长,已有葡萄炭疽病菌对戊唑醇产生抗性的相关报道^[10]。有研究表明,将吡唑醚菌酯和戊唑醇按照 1:1 的比例进行复配对葡萄炭疽病防治具有显著增效作用,在果穗套袋前使用能使病害防治效果达到 90% 以上^[27]。本次研究发现,江苏不同地区葡萄炭疽病菌对戊唑醇的敏感性差异显著,可能与所在地区该类药剂的使用量与使用年限相关,为了更好地防控葡萄炭疽病,应尽量减少戊唑醇的使用量。

总之,江苏省葡萄炭疽病菌对吡唑醚菌酯、咯菌腈和戊唑醇表现出中低抗性,对苯醚甲环唑敏感性较强,该研究可为江苏省葡萄炭疽病的防控、合理用药提供理论指导和依据。

参考文献

- [1] 高幸,周德. 中国葡萄种植产业布局的时空变迁及影响因素解析——基于 1998—2018 年省级面板数据[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(4): 201–209.
- [2] 刘梅,张玮,周莹,等. 葡萄炭疽病研究进展[J]. 中国植保导刊, 2014, 34(1): 29–33.
- [3] 雷龔,林雄杰,陈婷,等. 福建葡萄炭疽病原鉴定及致病性分析[J]. 果树学报, 2014, 31(6): 1123–1127.
- [4] 刘梅, JAYAWARDENA R S, 刘阳, 等. 北京市葡萄炭疽病原菌的分子鉴定[J]. 植物保护学报, 2018, 45(2): 393–394.
- [5] PENG Lijuan, SUN Tao, YANG Youlian, et al. *Colletotrichum* species on grape in Guizhou and Yunnan provinces, China [J]. Mycoscience, 2013, 54(1): 29–41.
- [6] HE Lifei, LI Xiaoyu, GAO Yangang, et al. Characterization and fungicide sensitivity of *Colletotrichum* spp. from different hosts in Shandong, China [J]. Plant Disease, 2019, 103(1): 34–43.
- [7] 邓维萍,杨敏,杜飞,等. 葡萄胶孢炭疽菌对 3 种麦角甾醇脱甲基抑制剂类杀菌剂的敏感性[J]. 农药学报, 2011, 13(3): 245–252.
- [8] 王宇,杨畅,杨晓,等. 5 省市主栽葡萄的果实病害及防治调

- 查[J]. 植物保护, 2021, 47(3): 242–246.
- [9] 杨敬辉, 许媛, 肖婷, 等. 葡萄炭疽病菌(*Colletotrichum* spp.) 种群对多菌灵的抗药性监测[J]. 果树学报, 2021, 38(2): 242–249.
- [10] 陈聃, 时浩杰, 吴慧明, 等. 浙江省葡萄炭疽菌对甲基硫菌灵和戊唑醇的抗药性研究[J]. 果树学报, 2013, 30(4): 665–668.
- [11] 徐杰, 冀志蕊, 王娜, 等. 葡萄炭疽病菌对 4 种杀菌剂的敏感性分析[J]. 果树学报, 2020, 37(6): 882–890.
- [12] 李宝燕, 石洁, 田园园, 等. 葡萄白腐病菌对抑霉唑的敏感基线及其与不同杀菌剂的交互抗性[J]. 植物保护学报, 2021, 48(4): 774–780.
- [13] 潘夏艳, 朱凤, 齐中强, 等. 江苏省稻瘟病菌对稻瘟灵的抗药性监测及特性分析[J]. 植物病理学报, 2022, 52(3): 416–424.
- [14] 华乃震. 杀菌剂苯醚甲环唑的进展和应用[J]. 世界农药, 2013, 43(6): 7–12.
- [15] 张海英, 刘永刚, 李建军, 等. 甘肃省枸杞炭疽病菌对 4 种甾醇脱甲基抑制剂的敏感性[J]. 农药学学报, 2019, 21(4): 424–430.
- [16] 郭珍妮, 唐利华, 黄穗萍, 等. 中国芒果炭疽病菌复合种对苯醚甲环唑敏感性测定[J]. 植物保护, 2020, 46(6): 209–212.
- [17] 韩永超, 向发云, 曾祥国, 等. 湖北省草莓炭疽病菌对苯醚甲环唑的敏感性测定[J]. 植物保护学报, 2016, 43(3): 525–526.
- [18] 宋丹丹. 杨树炭疽病菌对杀菌剂的抗药性研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2017.
- [19] LAWRY M, TRBBETS B, KEAN I, et al. Fludioxonil induces Drk1, a fungal group III hybrid histidine kinase, to dephosphorylate its downstream target, Ypd1 [J]. Antimicrobial Agents and Chemotherapy, 2017, 61(2): 14–16.
- [20] 刘青, 张亚, 刘双清, 等. 氟啶胺和咯菌腈复配对草莓灰霉病菌的联合独立及增效作用研究[J]. 中国果树, 2019, 35(2): 43–47.
- [21] 普继雄, 周宗山, 王娜, 等. 弥勒市葡萄灰霉病菌对 4 种杀菌剂的抗药性检测[J]. 果树学报, 2021, 38(7): 1147–1152.
- [22] 徐建强, 平忠良, 马世闯, 等. 河南省小麦赤霉病菌对咯菌腈的敏感性[J]. 植物保护学报, 2018, 45(6): 1367–1373.
- [23] 贡常委, 秦旖曼, 屈劲松, 等. 四川省草莓灰霉病菌对咯菌腈的抗性测定及其机制[J]. 中国农业科学, 2018, 51(22): 4277–4287.
- [24] 李亚萌. 北京地区番茄灰霉病菌对咯菌腈的抗性风险评估[D]. 北京: 北京农学院, 2020.
- [25] 李培征, 潘润东. 吡唑醚菌酯和苯醚甲环唑复配对槟榔炭疽病菌的联合毒力[J]. 植物医生, 2021, 34(3): 26–28.
- [26] 贤小勇, 朱桂宁, 林珊宇, 等. 吡唑醚菌酯与苯醚甲环唑对核桃炭疽病菌的联合毒力及林间防治效果[J]. 南方农业学报, 2021, 52(6): 1633–1640.
- [27] 刘吉祥, 吉沐祥, 芮东明, 等. 吡唑醚菌酯与戊唑醇及其复配剂对葡萄炭疽病菌的毒力测定及田间防效[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(8): 87–91.
- (责任编辑: 田 喆)
-
- (上接 303 页)
- [26] JIANG Jiexian, YANG Junhua, JI Xiangyun, et al. Experimental temperature elevation promotes the cooperative ability of two natural enemies in the control of insect herbivores [J]. Biological Control, 2018, 117: 52–62.
- [27] 王金彦, 万年峰, 范能能, 等. 淡色侧沟茧蜂对草地贪夜蛾的寄生功能反应[J]. 应用昆虫学报, 2020, 57(6): 1319–1325.
- [28] 马雪. 三种杀虫剂亚致死浓度处理棉蚜对其主要天敌的影响研究[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2021.
- [29] HOLLING C S. Some characteristics of simple types of predation and parasitism [J]. The Canadian Entomologist, 1959, 91(7): 385–389.
- [30] 唐超, 彭正强, 吴坤宏, 等. 三种农药亚致死剂量对椰甲截脉姬小蜂功能反应的影响[J]. 昆虫知识, 2006, 43(5): 644–647.
- [31] 古德就, 余明恩, 侯任环, 等. 农药亚致死剂量对菜蚜茧蜂搜索行为影响的研究[J]. 生态学报, 1991, 11(4): 324–330.
- [32] CALABRESE E J, BALDWIN L A. The frequency of U-shaped dose responses in the toxicological literature [J]. Toxicological Sciences, 2001, 62(2): 330–338.
- [33] 黄柯程, 曾鑫年, 黎卓莹. 低剂量杀虫剂对昆虫的兴奋性效应[J]. 生态毒理学报, 2010, 5(1): 26–31.
- [34] 王坤, 王甦, 宋丽芳, 等. 高效氯氟菊酯和啉虫脒对螟黄赤眼蜂繁殖的亚致死效应[J]. 环境昆虫学报, 2014, 36(6): 933–938.
- [35] WANG Zhuo, DAI Peng, YANG Xiangbing, et al. Selectivity of novel and traditional insecticides used for management of whiteflies on the parasitoid *Encarsia formosa* [J]. Pest Management Science, 2019, 75(10): 2716–2724.
- [36] 党芳, 何瞻, 郭长飞, 等. 不同食物对烟粉虱三种寄生蜂取食寄生等行为的影响[J]. 应用昆虫学报, 2015, 52(1): 71–79.
- [37] 魏可, 王小艺, 杨忠岐. 补充营养对白蜡吉丁肿腿蜂寄生效率和发育进程的影响[J]. 林业科学研究, 2016, 29(3): 369–376.
- [38] 朱凯辉, 周金成, 张柱亭, 等. 短管赤眼蜂对草地贪夜蛾和斜纹夜蛾不同日龄卵的寄生能力及子代蜂适合度[J]. 植物保护, 2019, 45(5): 54–59.
- [39] 田俊策, 鲁艳辉, 王国荣, 等. 5 种赤眼蜂对草地贪夜蛾卵的寄生能力研究[J]. 中国生物防治学报, 2020, 36(4): 485–490.
- [40] 孙加伟, 戴鹏, 徐伟, 等. 东北地区四种本地赤眼蜂对草地贪夜蛾寄生能力及适应性研究[J]. 环境昆虫学报, 2020, 42(1): 36–41.
- (责任编辑: 田 喆)