

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

李宝燕¹ 石洁¹ 田园园^{1,2} 聂乐兴³ 王英姿^{1,2*}

(1. 山东省烟台市农业科学研究院, 烟台 265500; 2. 烟台大学生命科学学院, 山东 烟台 264005;

3. 拜耳作物科学(中国)有限公司, 山东 烟台 265700)

摘要: 为明确山东省胶东地区葡萄白腐病菌 *Coniella diplodiella* 对抑霉唑的敏感性及其与常规杀菌剂之间的交互抗性, 采用菌丝生长速率法测定葡萄白腐病菌对抑霉唑等杀菌剂的敏感性, 并通过分析抑霉唑与戊唑醇、吡唑醚菌酯、福美双、多菌灵、代森锰锌毒力的相关性, 判断抑霉唑与各药剂之间是否存在交互抗性。结果表明, 供试69株葡萄白腐病菌菌株对抑霉唑的 EC_{50} 在0.13~55.53 $\mu\text{g/mL}$ 之间, 最高值与最低值相差427.15倍; 其频数分布图呈多峰曲线, 第一主峰内 EC_{50} 平均值为6.34 $\mu\text{g/mL}$, 可作为胶东地区葡萄白腐病菌对抑霉唑的敏感基线。与敏感基线相比, 田间已出现抑霉唑低抗菌株, 占检测总株数的8.70%, 未检测到中、高抗菌株。选择3个抗性菌株连续继代培养10代后, 其对抑霉唑的敏感性明显提高, 说明其抗药性不能稳定遗传。抑霉唑 EC_{50} 对数值与戊唑醇、吡唑醚菌酯、福美双、多菌灵、代森锰锌的 EC_{50} 对数值之间的相关系数分别为0.799、-0.143、-0.089、-0.268和0.159, 说明抑霉唑与戊唑醇存在一定的交互抗性, 但与其他4种药剂之间不存在交互抗性。表明抑霉唑可用于胶东地区田间葡萄白腐病的有效防控。

关键词: 葡萄白腐病菌; 抑霉唑; 敏感基线; 交互抗性

The sensitivity to imazalil and cross-resistance against several other fungicides in grapevine white rot pathogen *Coniella diplodiella*

Li Baoyan¹ Shi Jie¹ Tian Yuanyuan^{1,2} Nie Lexing³ Wang Yingzi^{1,2*}

(1. Yantai Academy of Agricultural Sciences, Yantai 265500, Shandong Province, China; 2. College of Life Sciences,

Yantai University, Yantai 264005, Shandong Province, China; 3. Bayer Crop Science (China) Company Ltd.,

Yantai 265700, Shandong Province, China)

Abstract: To evaluate the sensitivity to imazalil and the cross-resistances with tebuconazole, pyraclostrobin, thiram, carbendazim, and mancozeb, in isolates of grapevine white rot pathogen *Coniella diplodiella* collected from Jiaodong, Shandong Province, the EC_{50} of these isolates to each of the six fungicides was determined using the mycelial growth rate method and correlation analysis was conducted between the EC_{50} of paired fungicides. The results showed that the EC_{50} of 69 *C. diplodiella* isolates to imazalil ranged from 0.13 $\mu\text{g/mL}$ to 55.53 $\mu\text{g/mL}$ with a 427.15 fold difference between the highest and lowest values. The frequency distribution of EC_{50} showed a multiple peak curve, and the average value in the first peak was 6.34 $\mu\text{g/mL}$, which was used as a sensitivity baseline of *C. diplodiella* to imazalil in the subsequently analyses. The results from the sensitivity test revealed that 8.70% of the total tested

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0201300), 烟台市科技计划(2018NCGY058), 山东省现代农业产业技术体系果品产业创新团队病虫害防治与质量控制岗位专家(SDAIT-06-11)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: ytnkyzbs@126.com

收稿日期: 2020-05-28

strains had a low imazalil-resistance. No isolate was moderately or highly imazalil-resistant. The sensitivity of three resistant strains to imazalil increased significantly after ten generations of continuous sub-culture, indicating that the resistance to imazalil could not be inherited stably. The correlation coefficients were 0.799, -0.143, -0.089, -0.268 and 0.159, respectively, in linear regression analysis between the logarithms of EC_{50} values of imazole and tebuconazole, pyraclostrobin, thiram, carbendazim and mancozeb, which indicated that there was moderate cross resistance between imazole and tebuconazole, but no cross resistance between imazalil and other four fungicides. The results indicated that imazalil could be used for effective control of grape white rot in the orchards.

Key words: *Coniella diplodiella*; imazalil; baseline-sensitivity; cross-resistance

由白腐垫壳孢菌 *Coniella diplodiella* 寄生引起的葡萄白腐病在我国葡萄各产区普遍发生(王忠跃, 2017), 是引起葡萄果实腐烂的主要病害, 流行年份果实损失率可达 60% 以上(符丽珍和党攀峰, 2019; 张颖等, 2019)。目前, 防治该病害的主要措施是化学防治, 常用药剂以多菌灵、福美双、代森锰锌、戊唑醇等单剂或混剂为主(武泽民等, 2009; 蔡欣楠等, 2014; 李宝燕等, 2014)。常年连续用药容易引起病原菌产生抗药性, 导致药剂防治效果降低甚至丧失。如梁春浩等(2007)和张博等(2005)分别报道了葡萄白腐病菌对多菌灵及福美双的敏感基线, 并且均已发现高抗菌株; 而葡萄白腐病菌对其他药剂的敏感性目前尚未见报道。

抑霉唑属于咪唑类内吸性杀菌剂, 通过抑制麦角甾醇的生物合成, 破坏病原菌细胞膜的正常功能来发挥杀菌作用(Li et al., 2019; 虞婕等, 2019)。抑霉唑作为一种重要的果品防腐保鲜剂, 多用于果蔬类储存期病害的控制(李鸿筠等, 2014; 章豪等, 2017; 齐明星等, 2019)。2013 年, 抑霉唑在我国获得对葡萄炭疽病的登记认证, 其单剂或混剂产品开始用于葡萄生长期病害如葡萄炭疽病和灰霉病的防治(郑媛萍等, 2019), 但在山东省胶东地区, 抑霉唑尚未大面积使用。本课题组前期试验发现抑霉唑对葡萄白腐病菌具有良好的抑制效果, 但截至目前, 国内外尚无抑霉唑对葡萄白腐病菌的抑制活性及与其他杀菌剂间交互抗性的研究报道。

咪唑类杀菌剂属于中度抗性风险药剂(王文桥等, 2001), 需及时加强对该类药剂的抗药性监测, 因此, 本研究通过测定葡萄白腐病菌对抑霉唑的敏感性, 建立葡萄白腐病菌对抑霉唑的敏感基线, 分析并确定抑霉唑与其他防治葡萄白腐病的杀菌剂之间是否存在交互抗性, 以期田间抗药性监测、抗药性治理及化学农药的科学使用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试菌株: 2017 年从山东省胶东地区(蓬莱市、龙口市、海阳市、莱阳市、栖霞市、莱山区和威海市)葡萄主要种植区且未使用抑霉唑的葡萄园采集葡萄白腐病病果, 通过分离纯化共获得 69 株葡萄白腐病菌菌株。

培养基: 马铃薯葡萄糖(potato dextrose agar, PDA)培养基成分为马铃薯 200 g、葡萄糖 20 g、琼脂 15 g、蒸馏水 1 L。

供试药剂、试剂和仪器: 98% 抑霉唑(imazalil)原药, 江苏仁信作物保护技术有限公司; 98% 吡唑醚菌酯(pyraclostrobin)原药, 江苏恒隆作物保护有限公司; 95% 福美双(thiram)原药, 天津市农药研究所; 95% 戊唑醇(tebuconazole)原药, 拜耳股份公司; 95% 多菌灵(arbendazim)原药, 山东华阳农药化工集团有限公司; 88% 代森锰锌(mancozeb)原药, 山东省农业科学院植物保护研究所。本试验所用试剂均为国产分析纯。SPX-250B-G 恒温培养箱, 北京六一仪器厂。

1.2 方法

1.2.1 葡萄白腐病菌对不同杀菌剂的敏感性

随机从供试 69 株葡萄白腐病菌中选择 6 株菌株 BF8、BF11、BF21、BF36 和 BF39, 采用菌丝生长速率法测定其对不同杀菌剂的敏感性(张博等, 2005)。首先将抑霉唑溶于丙酮中配成 10 000 $\mu\text{g/mL}$ 母液, 用无菌水稀释后分别加入 50℃ 左右的 PDA 培养基中混匀, 制成抑霉唑终浓度分别为 0.781 25、1.562 5、3.125、6.25、12.5、25、50、100 $\mu\text{g/mL}$ 的含药平板; 采用相同方法, 将吡唑醚菌酯用丙酮溶解并配制成终浓度为 0.312 5、0.625、1.25、2.5、5、10、20、40 $\mu\text{g/mL}$ 的含药平板; 戊唑醇用异丙醇溶解并配制成终浓度为 0.312 5、0.625、1.25、2.5、5、10、20、40 $\mu\text{g/mL}$ 的含

药平板;福美双用氯仿溶解并配制成终浓度为3.125、6.25、12.5、25、50、100、200 $\mu\text{g/mL}$ 的含药平板;多菌灵用丙酮溶解并配制成终浓度为1.562 5、3.125、6.25、12.5、25、50、100 $\mu\text{g/mL}$ 的含药平板;代森锰锌用乙二醇四乙酸溶解并配制成终浓度为3.125、6.25、12.5、25、50、100、200 $\mu\text{g/mL}$ 的含药平板。供试6株菌株分别在PDA平板上于28℃、相对湿度80%条件下暗培养3 d后,沿菌落边缘打取直径5 mm的菌饼并转接至上述含药PDA平板中心,置于相同培养条件的恒温培养箱中暗培养3 d后,采用十字交叉法测量菌落直径。每个浓度处理3次重复。利用DPS 18.10软件计算每个浓度杀菌剂对菌丝生长的抑制率,得到毒力回归方程及 EC_{50} 。抑菌率=(对照菌落直径-处理菌落直径)/对照菌落直径 $\times 100\%$ 。

1.2.2 葡萄白腐病菌对抑霉唑的敏感基线建立

采用菌丝生长速率法测定69株葡萄白腐病菌菌株对抑霉唑的敏感性,抑霉唑的配制方法以及测定方法同1.2.1,最终获得抑霉唑对69株菌株的 EC_{50} 。将供试69株葡萄白腐病菌菌株对抑霉唑的 EC_{50} 从低到高排列,以2 $\mu\text{g/mL}$ 为区间间隔将其分区,统计供试菌株 EC_{50} 在各个区间的出现频率,绘制69株葡萄白腐病菌菌株对抑霉唑的敏感性频率分布图,并用SPSS 18.0软件进行Shapiro-Wilk正态性检验,若符合正态分布,则可将供试菌株对抑霉唑的 EC_{50} 平均值作为山东省胶东地区葡萄白腐病菌对抑霉唑的敏感基线(代玉立等,2018)。

1.2.3 葡萄白腐病菌抗药性水平划分

根据杀菌剂抗性行动委员会(Fungicide Resistance Action Committee, FRAC)关于植物病原菌对杀菌剂敏感性的划分方法,将供试菌株的 EC_{50} 与1.2.2确定的敏感基线相比,比值 ≤ 5 为敏感菌株,5<比值 ≤ 10 为低抗菌株,10<比值 ≤ 40 为中抗菌株,比值 > 40 为高抗菌株,分析供试菌株对抑霉唑的抗性(毕秋艳等,2017)。同时,按照划分结果统计各地区

抗性菌株的频率,抗性频率=抗性菌株数/测定总菌株数 $\times 100\%$ 。

1.2.4 田间抗性菌株抗药性遗传稳定性

基于1.2.3结果,选取3株抗性菌株BF-10、BF-18和BF-34进行抗药性遗传稳定性测定。首先将供试菌株采用1.2.1方法制备菌饼,然后分别接种到PDA平板上,以菌丝体继代培养10代,采用1.2.1方法测定继代培养前后的抗性菌株对抑霉唑的敏感性。每处理重复3次。

1.2.5 抑霉唑与其他不同杀菌剂的交互抗性

参照马建英等(2009)方法测定抑霉唑与其他不同杀菌剂的交互抗性,基于1.2.3结果,选取对抑霉唑敏感菌株13株、抗性菌株3株,分别测定其对福美双、多菌灵、戊唑醇、代森锰锌、吡唑醚菌酯的 EC_{50} ,杀菌剂配制浓度及测定方法同1.2.1。采用DPS 18.10软件分析供试菌株对抑霉唑的 EC_{50} 对数值与对吡唑醚菌酯、福美双、多菌灵、戊唑醇、代森锰锌的 EC_{50} 对数值之间的皮尔逊相关性。根据皮尔逊相关系数和 P 值来判断2种杀菌剂之间是否存在交互抗性,当相关系数 $r>0.6$ 且 $P<0.05$ 时,说明两者之间存在正交互抗性(Lu et al., 2010; Zhou et al., 2016)。

1.3 数据分析

通过DPS 18.10软件进行皮尔逊相关性分析,采用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同杀菌剂对葡萄白腐病菌的敏感性

不同杀菌剂对6株葡萄白腐病菌的毒力由高到低依次为戊唑醇、吡唑醚菌酯、抑霉唑、福美双、多菌灵、代森锰锌。其中戊唑醇和吡唑醚菌酯对葡萄白腐病菌的 EC_{50} 平均值小于5 $\mu\text{g/mL}$,抑霉唑对葡萄白腐病菌的 EC_{50} 为12.55 $\mu\text{g/mL}$,优于福美双、多菌灵和代森锰锌3种常规杀菌剂(表1),因此可以用于葡萄白腐病的田间防治。

表1 葡萄白腐病菌对6种杀菌剂的敏感性
Table 1 The sensitivity of *Coniella diplodiella* isolates to six fungicides

杀菌剂 Fungicide	抑制中浓度 $EC_{50}/(\mu\text{g/mL})$						平均值
	BF8	BF11	BF19	BF21	BF36	BF39	Average/ $(\mu\text{g/mL})$
戊唑醇 Tebuconazole	0.52	7.66	3.88	0.68	2.76	2.41	2.99
吡唑醚菌酯 Pyraclostrobin	7.44	1.37	1.34	5.41	3.87	7.32	4.46
抑霉唑 Imazalil	2.16	3.86	34.65	2.56	3.04	29.05	12.55
福美双 Thiram	8.72	6.42	29.07	25.56	17.27	36.11	20.53
多菌灵 Carbendazol	4.19	59.69	3.18	59.81	3.11	1.82	21.97
代森锰锌 Mancozeb	27.93	47.31	40.34	37.52	25.31	48.77	37.86

2.2 葡萄白腐病菌对抑霉唑的敏感基线

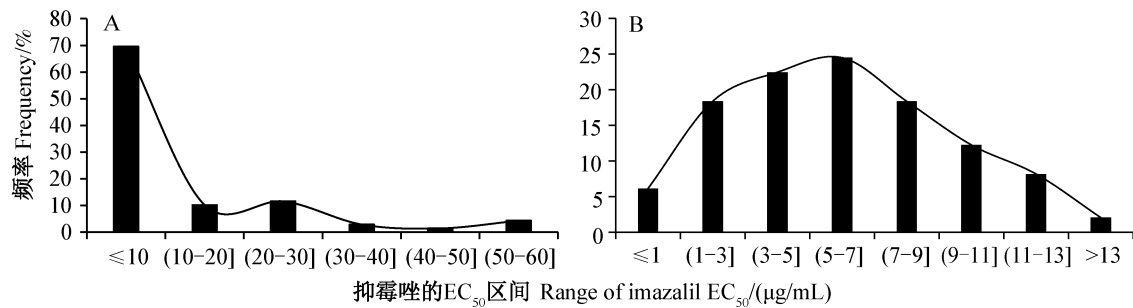
抑霉唑对供试 69 株葡萄白腐病菌的 EC₅₀ 差异较大,最低值为 0.13 μg/mL,最高值为 55.53 μg/mL,相差 427.15 倍。且抑霉唑对来自各个地区的葡萄白腐病菌菌株的 EC₅₀ 也有一定差异,抑霉唑对 69 株葡萄白腐菌株的 EC₅₀ 平均值为 12.01 μg/mL(表 2)。

表 2 胶东地区不同市区葡萄白腐病菌对抑霉唑的敏感性

Table 2 The sensitivity to imazalil in <i>Coniella diplodiella</i> isolates from different regions of Jiaodong Peninsula					
采集地区 Collection region	菌株数 No. of isolates	抑霉唑 EC ₅₀ 值 EC ₅₀ for imazalil/(μg/mL)		抗性菌株 Resistant strain	
		范围 Range	平均值 Average	菌株数 No. of isolate	比例 Rate/%
蓬莱市 Penglai City	15	2.86–55.53	14.01	4	26.67
龙口市 Longkou City	11	2.16–54.42	12.90	1	9.09
海阳市 Haiyang City	10	2.56–24.81	11.99	0	0.00
莱阳市 Laiyang City	10	3.04–29.05	12.72	0	0.00
栖霞市 Qixia City	9	0.13–18.31	8.94	0	0.00
莱山区 Laishan District	6	2.96–23.90	10.47	0	0.00
威海市 Weihai City	8	0.56–50.90	10.73	1	12.50
总计 Total	69	0.13–55.53	12.01	6	8.70

抑霉唑对不同葡萄白腐病菌菌株 EC₅₀ 的频数分布图呈现多峰曲线,曲线右侧具有长拖尾现象,不符合正态分布 ($W=0.724, P=0.000<0.05$),表明葡萄白腐病菌菌株对抑霉唑的敏感性已产生了分化(图 1-A)。供试 69 株菌株中有 55 株菌株集中位于主峰范围内,占到总数的 79.71%,这表明大多数葡萄白腐

病菌菌株对抑霉唑仍很敏感;并且这些葡萄白腐病菌菌株对抑霉唑的 EC₅₀ 的频数分布图符合正态分布 ($W=0.961, P=0.073>0.05$)(图 1-B),第一主峰内 EC₅₀ 平均值为 6.34 μg/mL,可将此值作为山东省胶东地区葡萄白腐病菌对抑霉唑的敏感基线。



A: 69 株葡萄白腐病菌; B: 55 株葡萄白腐病菌。A: 69 isolates of *Coniella diplodiella*; B: 55 isolates of *C. diplodiella*.

图 1 胶东地区葡萄白腐病菌对抑霉唑的敏感性频率分布

Fig. 1 Frequency distribution of imazalil sensitivity in *Coniella diplodiella* isolates from Jiaodong Peninsula

基于上述敏感基线,采自蓬莱市、龙口市、威海市的编号分别为 BF-10、BF-13、BF-14、BF-18、BF-19 和 BF-34 的 6 株葡萄白腐病菌菌株对抑霉唑的敏感性有所降低,表现出 5.13~8.75 倍的低水平抗性,总抗性频率为 8.70%,抗性菌株分别占当地采集菌株的 26.67%、9.09% 和 12.50%,海阳市、莱阳市和栖霞市等地未检测到对抑霉唑产生抗性的葡萄白腐病菌菌株(表 2)。

2.3 田间抗性菌株的抗药性遗传稳定性

从龙口市、蓬莱市、威海市各选取 1 株抗性菌株 BF-10、BF-18 和 BF-34,分别在 PDA 平板上继代培

养 10 代后其对抑霉唑的敏感性有一定程度的提高,抑霉唑对这 3 株菌株第 1 代与第 10 代的 EC₅₀ 分别相差 4.65 倍、2.08 倍和 4.04 倍(表 3)。表明田间抗性菌株在没有药剂选择压力下,其抗性逐渐降低,即抗药性不能稳定遗传。

2.4 抑霉唑与不同作用机制杀菌剂的交互抗性

线性回归分析结果表明,抑霉唑与戊唑醇、吡唑醚菌酯、福美双、多菌灵、代森锰锌药剂的相关系数分别是 0.799、-0.143、-0.089、-0.268 和 0.159(图 2), F 检验的显著水平 P 值分别为 0.019、0.039、0.343、0.713 和 0.000 2,因此抑霉唑与戊唑醇存在一定的交

互抗性,与其他4种药剂之间不存在交互抗性。

表3 葡萄白腐病菌田间抗性菌株对抑霉唑的抗药性遗传稳定性
Table 3 Sensitivity to imazalil in progenies of three relatively resistant isolates of *Coniella diplodiella*

抗性菌株 Resistant isolate	有效抑制中浓度 EC ₅₀ /(μg/mL)		
	第1代 First generation	第5代 Fifth generation	第10代 Tenth generation
BF-10	54.42	39.05	11.70
BF-18	32.56	24.37	15.62
BF-34	50.90	34.69	12.60

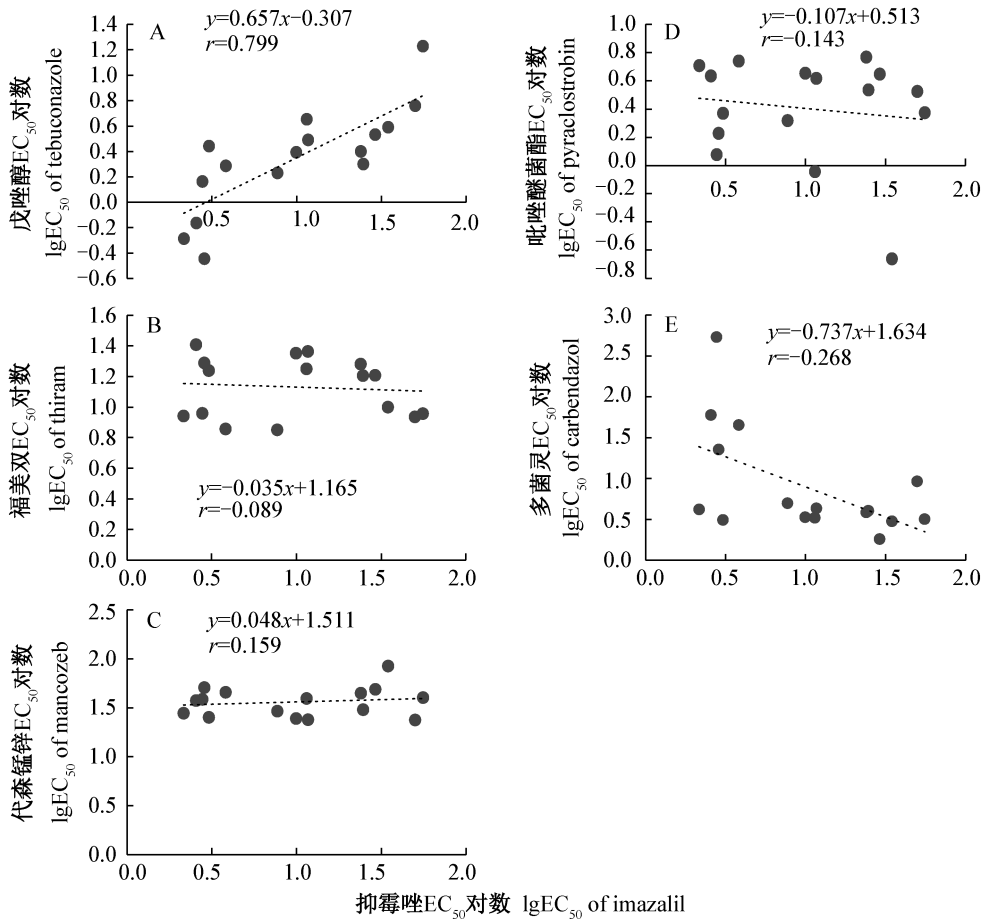


图2 抑霉唑与不同杀菌剂在防治葡萄白腐病菌时的交互抗性
Fig. 2 Cross-resistance between imazalil and other five fungicides in *Coniella diplodiella*

3 讨论

抑霉唑是葡萄、柑橘和脐橙等果蔬贮藏期的主要保鲜剂(李鸿筠等,2014;章豪等,2017;齐明星等,2019)。本研究采用菌丝生长速率法测定了山东省胶东地区葡萄白腐病菌对抑霉唑的敏感性,建立了该地区葡萄白腐病菌对抑霉唑的敏感基线,以期葡萄白腐病菌对抑霉唑的田间抗性监测提供依据。分析表明,抑霉唑对葡萄白腐病菌具有较好的抑制活性,田间已出现对抑霉唑产生低水平抗性的葡萄白腐病菌菌株,占比约为8.70%,但这些抗性菌株的

抗药性遗传并不稳定,这与番茄早疫病菌 *Alternaria solani* 对苯醚甲环唑(史晓晶等,2019)、灰霉病菌 *Botrytis cinerea* 对啉菌恶唑(马建英等,2009)的抗药性不能稳定遗传的结论相同,但是对于抑霉唑抗性菌株和敏感菌株的生物学性状是否存在差异仍需要深入研究。

国内外已有多种病原菌对三唑类杀菌剂产生了交互抗性,如Kunz et al.(1997)发现氟硅唑与苯醚甲环唑、戊唑醇等其他三唑类杀菌剂存在交互抗性;张驰等(2003)研究明确了氟硅唑与腈菌唑、三唑酮等三唑类杀菌剂间存在交互抗性;刘保友等(2013)对

苹果轮纹病的研究结果表明三唑类杀菌剂苯醚甲环唑、氟硅唑和戊唑醇之间具有交互抗性。上述报道多局限于不同三唑类杀菌剂之间交互抗性的研究。本研究分析了葡萄白腐病菌对抑霉唑和其他5种杀菌剂的交互抗性,发现抑霉唑与三唑类杀菌剂戊唑醇的交互抗性相关系数为0.799,表明抑霉唑和三唑类杀菌剂戊唑醇存在交互抗性,这应是抑霉唑虽然未在葡萄上使用却产生抗性白腐病菌菌株的主要原因。

咪唑类和三唑类杀菌剂同属于14- α -脱甲基酶抑制剂,通过使真菌体内的麦角甾醇生物合成受阻而起到抑制作用(de Waard, 1996; 李红叶等, 2003),由于2类杀菌剂作用机理相同,存在交互抗性的可能,但是三唑类和咪唑类间交互抗性的相关研究较少,且结论不同。如谢清云(2002)发现对抑霉唑产生抗性的指状青霉*Penicillium digitatum*菌株对咪唑胺、氟硅唑、三唑酮均表现正交互抗药性;邓维萍等(2011)对葡萄胶孢炭疽菌*Colletotrichum gloeosporioides*抗性的研究结果显示咪唑胺与烯唑醇和腈菌唑之间无显著相关性;周俞辛等(2016)研究结果显示咪唑胺与三唑类及2-氰基丙烯酸酯类杀菌剂之间均无交互抗性。本研究结果表明抑霉唑与戊唑醇存在一定的正相关性,也证明了植物病原菌对杀菌剂的抗性风险是由杀菌剂和病害共同决定的(王文桥等, 2001)。因此,建议在田间应用抑霉唑防治葡萄白腐病时,应尽量避免与戊唑醇同时或混合使用。另外,抑霉唑与其他三唑类杀菌剂是否存在交互抗性有待进一步研究。抑霉唑与甲氧基丙烯酸酯类的吡唑醚菌酯、苯并咪唑类的多菌灵、有机硫类的福美双以及代森锰锌之间均不存在交互抗性,这也从侧面证明作用机理不同的杀菌剂,植物病原菌对其产生抗药性的概率更低。在葡萄白腐病菌对供试药剂未产生抗性的情况下,抑霉唑可以与吡唑醚菌酯、多菌灵、福美双和代森锰锌及其同类药剂交替或轮换使用。

参 考 文 献 (References)

- Bi QY, Ma ZQ, Han XY, Zhang XF, Wang WQ, Zhao JJ. 2017. Sensitivity of diverse fungicides on powdery mildew of wheat and cross resistance with triadimefon. *Journal of Plant Protection*, 44(2): 331-336 (in Chinese) [毕秋艳, 马志强, 韩秀英, 张小凤, 王文桥, 赵建江. 2017. 不同机制杀菌剂对小麦白粉病的敏感性及其与三唑酮的交互抗性. *植物保护学报*, 44(2): 331-336]
- Cai XN, Li XH, Hu P, Li H, Ye XM, Dong Y, Wei YM. 2014. Control efficacy of several fungicides and antifungal strains against *Coniophora diplodiella*. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 30(16): 295-298 (in Chinese) [蔡欣楠, 李兴红, 胡盼, 李红, 叶熙萌, 董杨, 魏艳敏. 2014. 几种杀菌剂和拮抗菌对葡萄白腐病的室内防治试验. *中国农学报*, 30(16): 295-298]
- Dai YL, Gan L, Shi NN, Chen FR, Yang XJ. 2018. Sensitivity of southern corn leaf blight pathogen *Cochliobolus heterostrophus* to fluzazinam and cross-resistance against diverse fungicides in Fujian Province. *Journal of Plant Protection*, 45(6): 1374-1380 (in Chinese) [代玉立, 甘林, 石妞妞, 陈福如, 杨秀娟. 2018. 福建省玉米小斑病菌对氟唑胺的敏感性及其与不同杀菌剂间的交互抗性. *植物保护学报*, 45(6): 1374-1380]
- de Waard DMA. 1996. Synergism and antagonism in fungicide mixtures containing sterol demethylation inhibitors. *Phytopathology*, 86(11): 1280-1283
- Deng WP, Yang M, Du F, Liu YX, Zhang LT, Yan YY, Wang SQ, Yang JZ, He XH, Zhu SS. 2011. Sensitivity of *Colletotrichum gloeosporioides* causing grape anthracnose to three sterol demethylation inhibitor (DMI) fungicides. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 13(3): 245-252 (in Chinese) [邓维萍, 杨敏, 杜飞, 刘屹湘, 张丽韬, 闫莹莹, 汪思齐, 杨积忠, 何霞红, 朱书生. 2011. 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. *农药学报*, 13(3): 245-252]
- Fu LZ, Dang PF. 2019. Occurrence and control of grape white rot. *Northwest Horticulture*, (3): 33-34 (in Chinese) [符丽珍, 党攀峰. 2019. 葡萄白腐病发生规律与防治措施. *西北园艺*, (3): 33-34]
- Kunz S, Deising H, Mendgen K. 1997. Acquisition of resistance resistance to sterol demethylation inhibitors by populations of *Venturia inaequalis*. *Phytopathology*, 87: 1272-1278
- Li BY, Wang YZ, Wang PS, Luan BH. 2014. Research on cost-saving and synergy effect of Jiexiaoli mixed with conventional fungicides to control grape diseases. *Northern Horticulture*, (21): 137-139 (in Chinese) [李宝燕, 王英姿, 王培松, 栾炳辉. 2014. 杰效力与常规杀菌剂混用防治葡萄病害的节本增效作用研究. *北方园艺*, (21): 137-139]
- Li HJ, Yao TS, Wang LY, Hu JH, Ran C, Liu HQ. 2014. Evaluation on the control effect of 5 fungicides against citrus storage diseases. *Science and Technology of Food Industry*, 35(11): 319-323 (in Chinese) [李鸿筠, 姚廷山, 王联英, 胡军华, 冉春, 刘浩强. 2014. 5种药剂对柑橘贮藏病害的防控效果评价. *食品工业科技*, 35(11): 319-323]
- Li HY, Xie QY, Song AH. 2003. Sequence comparison of *CYP51* genes between imazalil-sensitive and imazalil-resistant strains of *Penicillium digitatum*. *Mycosystema*, 22(1): 153-156 (in Chinese) [李红叶, 谢清云, 宋爱环. 2003. 抑霉唑敏感与抗性指状青霉菌株 *CYP51* 基因序列比较. *菌物系统*, 22(1): 153-156]
- Li RN, Pan XL, Tao Y, Jiang DD, Chen ZL, Dong FS, Xu J, Liu XG, Wu XH, Zheng YQ. 2019. Systematic evaluation of chiral fungicide imazalil and its major metabolite R14821 (imazalil-M): stability of enantiomers, enantioselective bioactivity, aquatic toxicity, and dissipation in greenhouse vegetables and soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67: 11331-11339

- Liang CH, Huang YQ, Zhao KH, Miao ZY, Chen Y, Wang H, Liu CY. 2007. Resistance of grape white rot fungus to carbendazim. *Liaoning Agricultural Sciences*, (3): 16–18 (in Chinese) [梁春浩, 黄玉茜, 赵奎华, 苗则彦, 陈彦, 王辉, 刘长远. 2007. 葡萄白腐病菌对多菌灵抗性研究. 辽宁农业科学, (3): 16–18]
- Liu BY, Zhang W, Luan BH, Wang PS, Wang YZ. 2013. Sensitivity of *Botryosphaeria dothidea* to difenoconazole and flusilazole and cross-resistance of different fungicides. *Acta Phytopathologica Sinica*, 43(5): 541–548 (in Chinese) [刘保友, 张伟, 栾炳辉, 王培松, 王英姿. 2013. 苹果轮纹病菌对苯醚甲环唑和氟硅唑的敏感性及其交互抗性. 植物病理学报, 43(5): 541–548]
- Lu XH, Zhu SS, Bi Y, Liu XL, Hao JJ. 2010. Baseline sensitivity and resistance-risk assessment of *Phytophthora capsici* to iprovali-carb. *Phytopathology*, 100(11): 1162–1168
- Ma JY, Zhang XF, Wang WQ, Han XY, Ma ZQ, Ding HB. 2009. The sensitivity of *Botrytis cinerea* to SYP-Z048 and cross resistance against diverse fungicides. *Journal of Plant Protection*, 36(1): 61–64 (in Chinese) [马建英, 张小风, 王文桥, 韩秀英, 马志强, 丁海波. 2009. 灰葡萄孢霉 *Botrytis cinerea* 对啉菌恶唑的敏感性和不同杀菌剂的交互抗性. 植物保护学报, 36(1): 61–64]
- Qi MX, Chen ZX, Zhou YZ, Zhang HM, Xia CX, Lou W, Zhang LY, Peng L, Liu YG, Zhang ZM, et al. 2019. The Control effect of 20% imazalil emulsion on the disease of Gannan navel orange during storage. *Xiandai Horticulture*, (13): 6–7 (in Chinese) [齐明星, 陈兆星, 周耀振, 张洪铭, 夏长秀, 姜伟, 张丽艳, 彭龙, 刘英赣, 张祖铭, 等. 2019. 20% 抑霉唑水乳剂对赣南脐橙贮藏期病害的防治效果. 现代园艺, (13): 6–7]
- Shi XJ, Ren L, Wang HJ, Han JY. 2019. Sensitivity of early blight pathogen *Alternaria solani* to difenoconazole and fitness of resistant mutants. *Journal of Plant Protection*, 46(1): 201–207 (in Chinese) [史晓晶, 任璐, 王华杰, 韩佳音. 2019. 山西省番茄早疫病病菌对苯醚甲环唑的敏感性及其抗性突变体的适合度. 植物保护学报, 46(1): 201–207]
- Wang WQ, Ma ZQ, Zhang XF, Zhang WJ. 2001. Evaluation of risk of resistance in plant pathogenous fungi to fungicides. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 3(1): 6–11 (in Chinese) [王文桥, 马志强, 张小风, 张文吉. 2001. 植物病原菌对杀菌剂抗性风险评估. 农药学报, 3(1): 6–11]
- Wang ZY. 2017. Good agricultural practices and integrated pest management for grapevine health. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, pp. 208–212 (in Chinese) [王忠跃. 2017. 葡萄健康栽培与病虫害防控. 北京: 中国农业科学技术出版社, pp. 208–212]
- Wu ZM, Lu LH, Jiang HD, Chen PF. 2009. Investigation and control of grape white rot. *China Fruits*, (4): 48–51 (in Chinese) [武泽民, 卢立华, 姜化德, 陈鹏飞. 2009. 葡萄白腐病的发生调查及防治试验. 中国果树, (4): 43–46]
- Xie QY. 2002. Study on resistance and molecular mechanism of imazalil in *Penicillium digitatum*. Master thesis. Hangzhou: Zhejiang University (in Chinese) [谢清云. 2002. 指状青霉(*Penicillium digitatum*)对抑霉唑抗性及其分子机理研究. 硕士学位论文. 杭州: 浙江大学]
- Yu J, Xu HJ, Zhao MR, Yue SQ. 2019. Enantioseparation and on-column preconcentration of imazalil by capillary electrophoresis. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 21(3): 309–314 (in Chinese) [虞婕, 许杭杰, 赵美蓉, 岳思青. 2019. 抑霉唑的毛细管电泳手性拆分及其在线富集. 农药学报, 21(3): 309–314]
- Zhang B, Liu CY, Lin F, Zhao KH, Miao ZY, Liang CH, Wang RJ. 2005. Resistance determination of *Coniella diplodiella* to thiram. *Plant Protection*, 31(4): 84–86 (in Chinese) [张博, 刘长远, 林凤, 赵奎华, 苗则彦, 梁春浩, 王瑞菊. 2005. 葡萄白腐病菌对福美双抗药性的测定. 植物保护, 31(4): 84–86]
- Zhang C, Ji MS, Wang YZ, Qu CM, Cheng GW, Qi ZQ, Gu ZM, Li LN. 2003. Preliminary studies on resistance of *Fulvia fulva* to flusilazole in tomato. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 34(4): 255–258 (in Chinese) [张驰, 纪明山, 王英姿, 曲昌明, 程根武, 祁之秋, 谷祖敏, 李丽娜. 2003. 番茄叶霉病菌对氟硅唑抗药性的初步研究. 沈阳农业大学学报, 34(4): 255–258]
- Zhang H, Zhang YW, Ling SP, Zhang L, Chen RX, Wu YL, Zhu Y. 2017. Effects and risk assessment of imazalil treatment on grape storage. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 29(5): 840–844 (in Chinese) [章豪, 张宜文, 凌淑萍, 张亮, 陈若霞, 吴银良, 朱勇. 2017. 抑霉唑对葡萄的保鲜效果及其风险评估. 浙江农业学报, 29(5): 840–844]
- Zhang Y, Fan XC, Jiang JF, Li M, Liu CH. 2019. Analysis of the function of miRNA on the resistance to white-rot disease in *Vitis davidii* based on microRNA sequencing. *Journal of Fruit Science*, 36(2): 143–152 (in Chinese) [张颖, 樊秀彩, 姜建福, 李民, 刘崇怀. 2019. 基于 microRNA 测序分析 miRNA 在刺葡萄抗白腐病中的作用. 果树学报, 36(2): 143–152]
- Zheng YP, Zhou LZ, Kong FF, Wang ZY, Zhang H. 2019. Detection of the resistance of *Botrytis cinerea* on grape plants in Penglai of Shandong to seven fungicides. *Plant Protection*, 45(1): 164–169 (in Chinese) [郑媛萍, 周连柱, 孔繁芳, 王忠跃, 张昊. 2019. 山东蓬莱葡萄灰霉菌对 7 种杀菌剂的抗药性检测. 植物保护, 45(1): 164–169]
- Zhou YX, Chen L, Hu J, Liu PF, Zhang Y, Meng QX, Li B, Si NG, Liu CL, Liu XL. 2016. Baseline sensitivity of natural population and resistance risk of *Peronophythora litchii* to four novel QoI fungicides. *European Journal of Plant Pathology*, 146(1): 71–83
- Zhou YX, Yu JJ, Yu MN, Yin XL, Wang YH, Du Y, Qi ZQ, Song TQ, Zhang RS, Liu YF. 2016. Fitness and cross-resistance of *Fusarium fujikuroi* strains resistant to prochloraz from field. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 18(6): 703–709 (in Chinese) [周俞辛, 于俊杰, 俞咪娜, 尹小乐, 王亚会, 杜艳, 齐中强, 宋天巧, 张荣胜, 刘永锋. 2016. 水稻恶苗病菌田间抗咪鲜胺菌株的适合度及其交互抗性. 农药学报, 18(6): 703–709]

(责任编辑:李美娟)