

山东蓬莱葡萄灰霉菌对 7 种杀菌剂的抗药性检测

郑媛萍, 周连柱, 孔繁芳, 王忠跃*, 张 昊*

(中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193)

摘要 为了明确葡萄灰霉菌对啶酰菌胺、多菌灵、咯菌腈、异菌脲、腐霉利、啮霉胺的抗药性和对抑霉唑的敏感性, 本试验采用菌丝生长速率法和孢子萌发法检测了来自山东蓬莱地区的 69 株葡萄灰霉菌对上述 6 种杀菌剂的抗药性、对抑霉唑的敏感性及抑霉唑与其他 6 种杀菌剂的交互抗性关系。结果表明, 抑霉唑对这 69 株葡萄灰霉菌的 EC_{50} 分布在 $0.403 \sim 28.76 \mu\text{g/mL}$ 之间, 平均值为 $(9.34 \pm 10.34) \mu\text{g/mL}$; 葡萄灰霉菌菌株中抗啶酰菌胺 (BosR)、多菌灵 (CarR)、咯菌腈 (FluR)、异菌脲 (IprR)、啮霉胺 (PyrR)、腐霉利 (ProR) 的比例分别为 100%、100%、9.47%、97.18%、100%、89.20%, 测试菌株的抗药性均为多抗类型, 没有单抗菌株, 其中对 3 种杀菌剂 (啶酰菌胺、多菌灵、啮霉胺)、对 4 种杀菌剂 (啶酰菌胺、多菌灵、异菌脲、啮霉胺)、对 5 种杀菌剂 (啶酰菌胺、多菌灵、异菌脲、啮霉胺、腐霉利) 或啶酰菌胺、多菌灵、咯菌腈、异菌脲、啮霉胺) 和对 6 种杀菌剂 (啶酰菌胺、多菌灵、咯菌腈、异菌脲、啮霉胺、腐霉利) 的抗性频率分别为 2.33%、9.30%、79.07%、2.33%、6.97%, 表明啶酰菌胺、多菌灵、啮霉胺对测试葡萄菌株完全丧失防效, 建议在该葡萄产区停止使用这些药剂, 测试菌株对腐霉利、异菌脲的抗性频率高, 建议采取限制使用、禁止单独使用等措施, 测试菌株对咯菌腈的抗性频率较低, 可以继续使用但需按照科学使用规则进行。抑霉唑与其他 6 种杀菌剂间不存在交互抗性关系, 说明其可以和其他药剂同时使用但建议减少使用。

关键词 葡萄灰霉菌; 杀菌剂; 抑霉唑; 敏感性; 抗药性

中图分类号: S 436.631 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2018140

Detection of the resistance of *Botrytis cinerea* on grape plants in Penglai of Shandong to seven fungicides

ZHENG Yuanping, ZHOU Lianzhu, KONG Fanfang, WANG Zhongyue, ZHANG Hao

(State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract In order to investigate the resistance of *Botrytis cinerea* to carbendazim, procymidone, iprodione, fludioxonil, pyrimethanil and boscalid, the sensitivity to imazalil, and the cross-resistance between imazalil and other six fungicides, 69 isolates of *B. cinerea* from grape plants were collected from the vine planting areas in Penglai of Shandong Province and bioassay was implemented by the method of mycelial growth and conidial germination inhibition. The results indicated that the mean EC_{50} values of 69 isolates to imazalil were $(9.34 \pm 10.34) \mu\text{g/mL}$, ranging from 0.403 to $28.76 \mu\text{g/mL}$. The resistance frequencies of tested isolates to CarR, BosR and PyrR were 100%, those of to ProR and IprR were above 85%, and that of to FluR was 9.47%. The multidrug resistance types were PyrR_BosR_CarR, IprR_PyrR_BosR_CarR, IprR_PyrR_FluR_BosR_CarR, IprR_PyrR_ProR_BosR_CarR and IprR_PyrR_FluR_BosR_CarR_ProR, accounting for 2.33%, 9.30%, 2.33%, 79.07% and 6.97%, respectively. The results showed that boscalid, carbendazim, pyrimethanil could not effectively control gray mold, so we should stop applying these fungicides in vineyard of Penglai. As to procymidone and iprodione, strategies must be implemented which prevent any possibilities for solo application and use as little as possible. Fludioxonil should be selected and used for controlling Botrytis rot according to general use recommendations. Imazalil does not have cross-resistance with other six fungicides, and it has lower activity to *Botrytis cinerea*, so we should not select imazalil for controlling Botrytis rot in vineyard if there are many effective fungicides for choice.

Key words *Botrytis cinerea*; fungicide; imazalil; sensitivity; fungicide resistance

灰霉病已经发展成为一种重要的世界性植物真菌类病害,由于其对经济造成严重影响,被列为世界第二大重大植物病原真菌病害^[1]。灰霉病发生普遍,在经济作物的田间生长期及采后的贮藏、运输过程中均有发生。其病原真菌灰葡萄孢可引起多种双子叶农作物及包括葡萄在内的多种果蔬的灰霉病。葡萄灰霉病在我国各葡萄主产区均有发生,是葡萄成熟期和贮藏期的重要病害之一,在适宜的低温高湿的环境下极易暴发,影响葡萄品质,造成葡萄严重减产。目前,我国葡萄灰霉病的防控主要以化学防治为主,葡萄生产和贮存上主要使用的药剂包括苯并咪唑类的多菌灵、二甲酰亚胺类的腐霉利和异菌脲、苯胺基嘧啶类的嘧霉胺、吡咯类的咯菌腈、烟酰胺类的啉酰菌胺、咪唑类的抑霉唑、有机硫类的福美双等。随着这些杀菌剂的高频次和大剂量使用,灰葡萄孢也普遍产生了抗药性甚至多药抗性,造成葡萄生产和贮存上严重的经济损失^[2]。据报道,2014 年日本大阪地区温室番茄灰霉菌对多菌灵、异菌脲的抗性频率分别达到了 74.2%和 86.4%^[3];2015 年中国浙江地区草莓灰霉菌对腐霉利、嘧霉胺的抗性频率分别达到了 69.2%和 93.7%^[4],2017 年德国东南部树莓灰霉菌对咯菌腈、啉酰菌胺的抗性频率均高达 100%^[5]。明确病原菌的抗药性及抗药性水平,是选择有效药剂的基础。

14- α -脱甲基酶抑制剂(14- α -demethylation inhibitors, DMIs)类杀菌剂是目前农业上广泛使用的甾醇生物合成抑制剂类杀菌剂,包含三唑类、咪唑类、嘧啶类和吡咯类^[6]。DMIs 通过抑制 14- α -脱甲基酶,使真菌体内的麦角甾醇生物合成受阻而起到抑菌作用^[7]。抑霉唑(imazalil)是 DMIs 杀菌剂中咪唑类的重要成员,是一种内吸性杀菌剂,该药剂除用于水果、蔬菜和观赏植物的真菌病害的防治外,在防腐、保鲜和延长水果货架期方面,例如预防采后果蔬青霉病和绿霉病也具有卓越的功效^[8-10]。自 20 世纪 70 年代抑霉唑在国外被用于柑橘防腐保鲜以来,研究者对其进行了大量研究。目前,该药剂的理化性质、抑菌效率、抑菌效力、毒性试验、残留量测定等均有报道^[11]。我国于 20 世纪 80 年代初引进抑霉唑制剂,并进行了应用试验^[12],于 20 世纪 90 年代开始使用抑霉唑防治柑橘绿霉菌^[13]。

抑霉唑因其良好的杀菌和防腐保鲜作用也被广泛用作我国果蔬如葡萄成熟期的杀菌剂和贮藏期的

保鲜剂,目前国内外尚无灰葡萄孢对抑霉唑敏感性相关的研究报道,本研究旨在比较葡萄灰霉菌对抑霉唑及其他 6 种供试药剂的敏感性,探究它们之间是否存在交互抗性,同时检测山东葡萄灰霉菌对其他 6 种杀菌剂的抗性情况,以期为指导杀菌剂的使用及抗性检测提供依据,减少葡萄成熟期和贮藏期灰霉病导致的损失。

1 材料与方法

1.1 菌株的采集、分离纯化及保存

2016 年从山东蓬莱葡萄主要种植区采集了灰霉病叶和病果样品 149 份,装入自封袋后用冰袋降温保存。在实验室内对病样进行分离培养,培养基上培养产孢后用接种环蘸取少量孢子进行划线分离培养,1 d 后挑取单个分生孢子进行培养,最终纯化得到 69 株,切取带菌培养基置于冻存管中,加入 40%的甘油后保存于-80℃备用。

1.2 供试药剂与培养基

97%抑霉唑原药、98%多菌灵原药、98.4%腐霉利原药、97%异菌脲原药、98%咯菌腈原药、97%嘧霉胺原药、98.2%啉酰菌胺原药均由中国农业科学院植物保护研究所农药应用工艺学研究组提供。溶于甲醇或盐酸,配制成 20、50、100 mg/mL 的母液,密封保存于 4℃冰箱备用。

PDA 培养基:将土豆去皮、洗净吸干水分然后准确称取 200 g,切成厚度 1.5 cm 的土豆片放入 1 L ddH₂O 中加热煮至熟透。之后用双层纱布过滤,弃滤渣,并用 ddH₂O 将滤液定容到 1 L,加入 20 g 葡萄糖,搅拌至全部溶解后分装于含有 3 g 琼脂的 500 mL 锥形瓶中,每瓶定容为 300 mL,封口后 121℃高压灭菌 20 min,取出后摇匀,室温下保存待用。

1.3 葡萄灰霉菌对抑霉唑敏感性测定

采用菌丝生长速率法。抑霉唑的浓度梯度设置为 0.5、1、2.5、5、10、20、40 μ g/mL,另设置空白对照。使用前先将 97%抑霉唑原药溶解于适量甲醇配成 20 mg/mL 的母液并置于 4℃储存待用,试验时按设置浓度稀释,加入到熔化后冷却至 50℃左右的 PDA 培养基中,并根据溶剂含量不得超过培养基总体积的 0.5%的标准进行试验。将分离纯化并保存在-80℃的 69 株灰霉菌活化培养 3 d 后沿菌落边缘打取直径为 5 mm 的菌饼接种到含药 PDA 平板中央,以不加药的空白 PDA 平板做对照,每次处理重复

3次,置于22℃培养3d左右,对照组菌落直径达到平板的3/4左右时,用十字交叉法测量菌落直径,利用SPSS 19.0软件计算出抑霉唑对各菌株的 EC_{50} 。

1.4 葡萄灰霉菌对不同杀菌剂的抗药性

采用菌丝生长速率法和孢子萌发法检测葡萄灰霉菌菌对多菌灵、腐霉利、异菌脲、咯菌腈、啶酰菌胺和嘧霉胺的抗性频率^[14],根据Bardas等^[14]、Myresiotis等^[15]的方法,设置多菌灵、腐霉利、异菌脲、咯菌腈、啶酰菌胺和嘧霉胺的最小抑制浓度分别为10、5、5、1、5、1 $\mu\text{g/mL}$ 。其中多菌灵、腐霉利、异菌脲、咯菌腈、嘧霉胺抗药性测定采用菌丝生长速率法。待融化完全的PDA培养基冷却至50℃加入定量的药剂,制成含药的PDA平板,并设置不含药剂的空白对照。用直径为5 mm打孔器打取活化的灰霉菌株菌落边沿的菌饼,将菌饼菌丝面朝下接种在含药的平板上,置于22℃光照培养箱中培养3d,观察菌丝生长状况。灰霉菌菌对啶酰菌胺的抗性频率采用孢子萌发法进行测定:吸取事先制备好的孢子悬浮液均匀涂布在含药WA平板上,22℃培养8~12 h后用显微镜观察孢子的萌发情况。在空白培养基上长势良好,不能在含药培养基上生长或萌发的菌株为敏感菌株,而能在含药培养基上生长或萌发的菌株为抗性菌株。统计敏感和抗性菌株的数量,计算抗性频率。

1.5 葡萄灰霉菌对抑霉唑及不同作用机制杀菌剂间的交互抗性

采用菌丝生长速率法测定69株灰霉菌株对多菌灵、腐霉利、异菌脲、咯菌腈、嘧霉胺的敏感性;采用孢子萌发法测定各菌株对啶酰菌胺的敏感性,设置空白对照。其中使用菌丝生长速率法测定抗药性时,将活化好的菌株打制菌饼接种在含药培养基平板上,22℃培养3d左右,待对照组菌落直径达到平板的3/4左右后采用十字交叉法测量菌落直径;孢子萌发法则是22℃培养8h左右,显微镜下随机取3个视野观察100个孢子的萌发数量,计算萌发率。每个处理重复3次。利用SPSS 19.0软件计算出多菌灵、腐霉利、异菌脲、咯菌腈、嘧霉胺、啶酰菌胺对各菌株的 EC_{50} 。利用SPSS 19.0软件分析抑霉唑对供试菌株的 $\lg EC_{50}$ 分别与多菌灵、腐霉利、异菌脲、咯菌腈、嘧霉胺和啶酰菌胺对供试菌株的 $\lg EC_{50}$ 之间的皮尔逊相关性。根据皮尔逊相关系数和显著性来判断两种杀菌剂之间是否存在交互抗性。

2 结果与分析

2.1 葡萄灰霉菌对不同杀菌剂的抗药性

69株葡萄灰霉菌中抗啶酰菌胺(BosR)、多菌灵(CarR)、咯菌腈(FluR)、异菌脲(IprR)、嘧霉胺(PyrR)、腐霉利(ProR)的比例分别为100%、100%、9.47%、97.18%、100%、89.20%(图1),表明测试菌株已对多菌灵、啶酰菌胺、嘧霉胺产生了完全的抗药性,对腐霉利和异菌脲产生了严重的抗药性,而对咯菌腈的抗性仍较低。对葡萄灰霉菌对这6种杀菌剂的多药抗性分析结果(图2)显示,这69株葡萄灰霉菌株的抗性类型中不存在单抗类型,全部表现为多药抗性,其中BosR_CarR_PyrR(抗啶酰菌胺、多菌灵、嘧霉胺),BosR_CarR_IprR_PyrR(抗啶酰菌胺、多菌灵、异菌脲、嘧霉胺),BosR_CarR_FluR_IprR_PyrR(抗啶酰菌胺、多菌灵、咯菌腈、异菌脲、嘧霉胺),BosR_CarR_IprR_PyrR_ProR和BosR_CarR_FluR_IprR_PyrR_ProR(抗啶酰菌胺、多菌灵、咯菌腈、异菌脲、嘧霉胺、腐霉利)的频率分别为2.33%、9.30%、2.33%、79.07%、6.97%,数据显示山东蓬莱地区的葡萄灰霉菌菌群的多药抗性类型中以抗啶酰菌胺、多菌灵、异菌脲、嘧霉胺、腐霉利这5种杀菌剂的菌株为主。

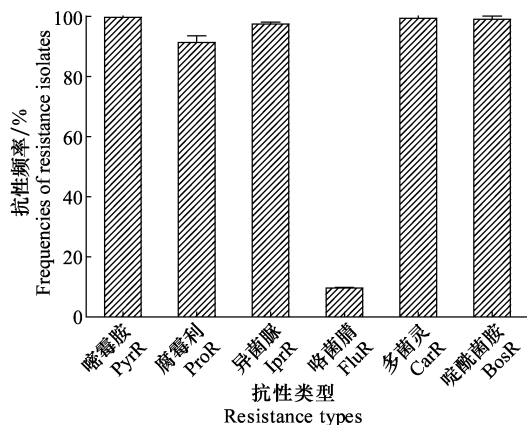


图1 葡萄灰霉菌对6种杀菌剂的抗药性频率

Fig. 1 Resistance frequencies of *Botrytis cinerea* from grape to six fungicides

2.2 抑霉唑对葡萄灰霉菌的 EC_{50} 测定

采用菌丝生长速率法测定了69株野生葡萄灰霉菌对抑霉唑的敏感性,抑霉唑对各菌株的 EC_{50} 最高达28.76 $\mu\text{g/mL}$,最低为0.403 $\mu\text{g/mL}$,不呈连续性单峰分布,使用SPSS软件进行W法正态性检验,得到 $W=0.833$, $P=0.018$, $P<0.05$,说明供试的69

株葡萄灰霉菌对抑霉唑的敏感性频率分布不符合正态分布(图 3)。其平均 EC_{50} 为 $(9.34 \pm 10.34) \mu\text{g/mL}$ 。

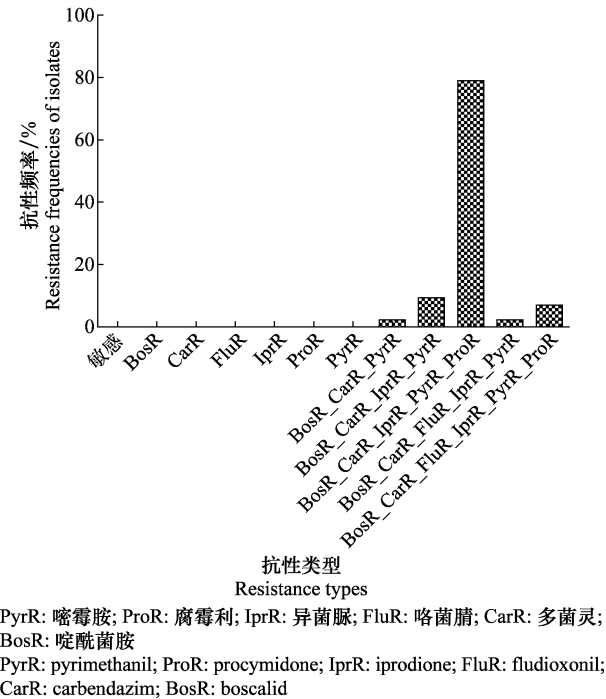


图 2 葡萄灰霉菌对 6 种杀菌剂的抗药性类型频率
Fig. 2 Frequencies of multidrug resistance of *Botrytis cinerea* from grape to six fungicides

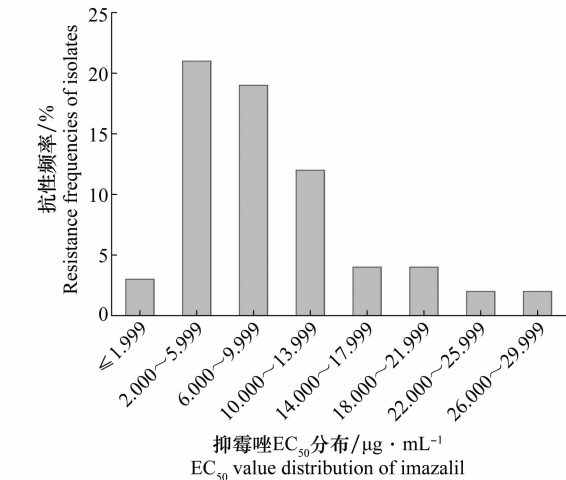


图 3 69 株葡萄灰霉菌对抑霉唑的敏感性频率分布
Fig. 3 Sensitivity frequency of 69 isolates of *Botrytis cinerea* to imazalil

2.3 葡萄灰霉菌对抑霉唑和 6 种杀菌剂的交互抗性

将抑霉唑对 69 株葡萄灰霉菌的 EC_{50} 分别与多菌灵、腐霉利、异菌脲、啞酰菌胺、咯菌腈及啉霉胺的 EC_{50} 的对数值运用 SPSS 软件进行皮尔逊相关性分析,其皮尔逊相关系数 r 分别为 $0.049 (P > 0.05)$ 、 $0.025 (P > 0.05)$ 、 $0.116 (P > 0.05)$ 、 $0.134 (P >$

$0.05)$ 、 $0.120 (P > 0.05)$ 、 $0.017 (P > 0.05)$,数据显示抑霉唑对葡萄灰霉菌的 EC_{50} 与其他 6 种类型杀菌剂 EC_{50} 的相关性均未达到显著水平,表明抑霉唑与多菌灵、腐霉利、异菌脲、咯菌腈、啞酰菌胺及啉霉胺之间均不存在交互抗性(图 4)。

3 结论与讨论

3.1 葡萄灰霉菌对 6 种杀菌剂的抗药性

2014 年日本大阪地区温室番茄灰霉菌对多菌灵、异菌脲的抗性频率分别到达了 74.2% 、 86.4% ^[3], 2015 年中国浙江地区草莓灰霉菌对腐霉利、啉霉胺的抗性频率分别达到了 69.2% 、 93.7% ^[4], 2017 年德国东南部树莓灰霉菌对咯菌腈、啞酰菌胺的抗性频率均高达 100% ^[5]。这些数据说明,杀菌剂的长时间和大剂量使用,国内外的灰葡萄孢均已经产生了普遍的抗药性,由此导致的杀菌剂防效下降的现象也日益严重。因此为减少灰霉病害引起的经济损失,科学合理地使用杀菌剂已成为葡萄以及其他经济作物生产上的迫切要求。

本研究表明,山东蓬莱地区葡萄灰霉菌对多菌灵、啞酰菌胺、啉霉胺、腐霉利、异菌脲、咯菌腈均产生了抗药性且抗性频率分别为 100% 、 100% 、 100% 、 89.20% 、 97.18% 和 9.47% ,表明啞酰菌胺、多菌灵、啉霉胺对测试葡萄菌株完全丧失防效,建议在该葡萄产区停止使用这些药剂,腐霉利、异菌脲对测试菌株的抗性频率高,建议采取限制使用、禁止单独使用等措施,测试菌株对咯菌腈的抗性频率较低,可以继续使用但需按照科学使用规则进行。

3.2 葡萄灰霉菌对 6 种杀菌剂的多重抗药性

目前,国内外已经有很多关于灰霉菌对多菌灵、腐霉利、异菌脲、啞酰菌胺、咯菌腈及啉霉胺的多药抗性的报道^[16-18],但是关于葡萄灰霉菌对主要杀菌剂的多重抗药性(以下简称多药抗性)的报道还较少。本研究结果表明,葡萄灰霉菌对上述杀菌剂的抗性类型中不存在单抗类型而全部表现为多药抗性,其中测试菌株对啞酰菌胺、多菌灵、异菌脲、啉霉胺和腐霉利的多药抗性所占比例最高,达 79.07% ,但由于无法对该地区杀菌剂的使用情况进行准确的统计,有关于抗性的发展和杀菌剂的使用量间是否存在相关性的研究无法展开。

3.3 葡萄灰霉菌对抑霉唑和 6 种杀菌剂的交互抗性

本研究是首次关于葡萄灰霉菌对抑霉唑和其他 6 种杀菌剂交互抗性情况的研究。测定了葡萄灰霉菌对抑霉唑的 EC_{50} ，并对结果进行了统计分析。结果表明，抑霉唑与多菌灵、腐霉利、异菌脉、咯菌腈、啶菌胺及嘧霉胺之间均不存在交互抗性。在实际葡

萄生产中，抑霉唑主要用于储存期病害的控制，与上述 6 种杀菌剂的使用时间是不同的，且经过试验得出抑霉唑与上述药剂不存在交互抗性，故其可以继续作为葡萄储藏期的保鲜剂，且咪唑类的其他药剂也可继续沿用。另外，如何通过药剂的科学使用来减少葡萄灰霉菌对常用杀菌剂的交互抗性也是科研工作者需要去深入研究的方向。

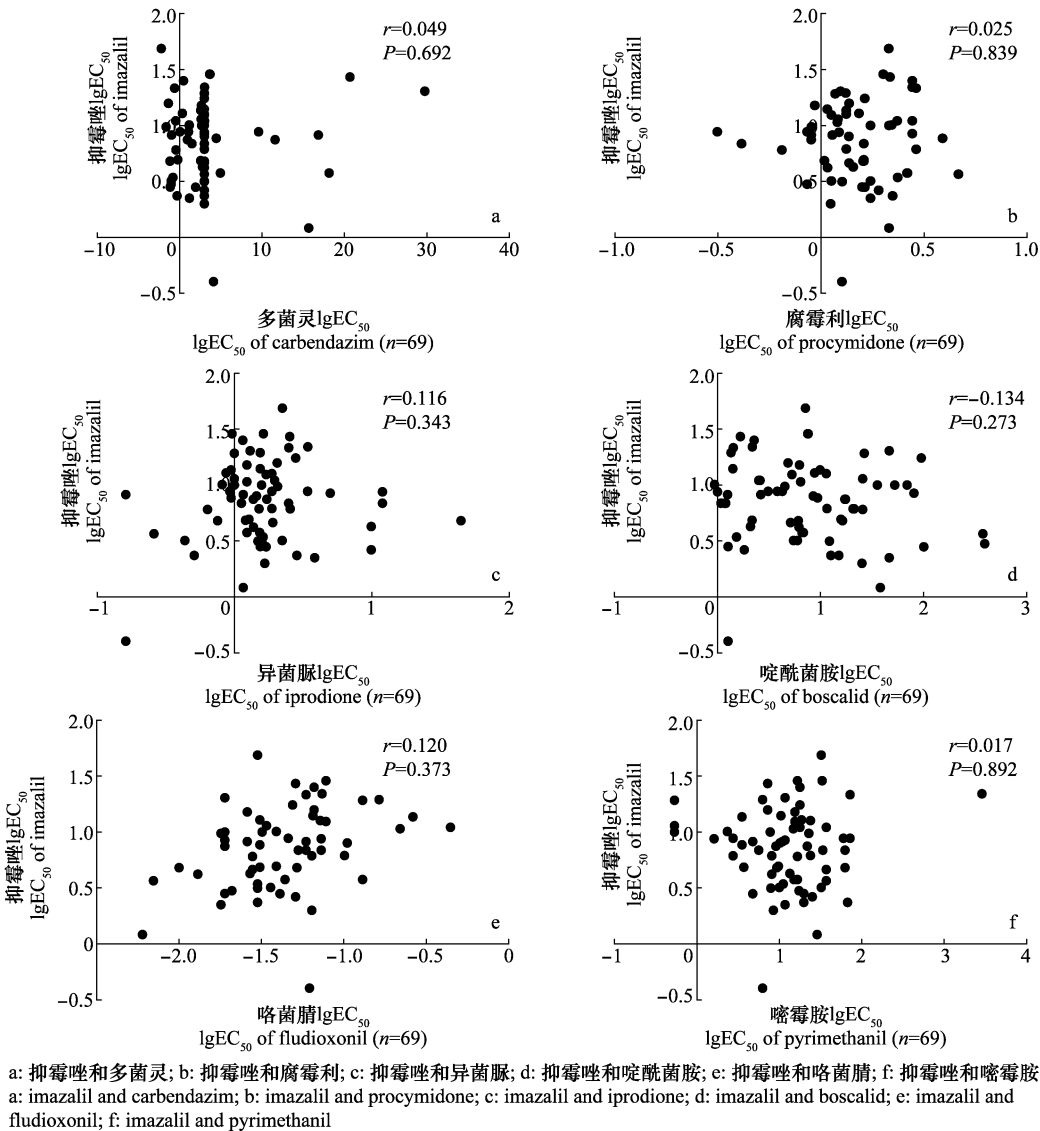


图 4 葡萄灰霉菌对抑霉唑及不同机制杀菌剂的交互抗性

Fig. 4 Cross-resistance of *Botrytis cinerea* to imazalil and other fungicides with different mechanism of action

参考文献

[1] DEAN R, VAN KAN J A, PRETORIUS Z A, et al. The top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology [J]. Molecular Plant Pathology, 2012, 13(4): 804.

[2] 张玮, 乔广行, 黄金宝, 等. 中国葡萄灰霉菌对嘧霉胺的抗性检测[J]. 中国农业科学, 2013, 46(6): 1208-1212.

[3] RODRÍGUEZ A, ACOSTA A, RODRÍGUEZ C. Fungicide resistance of *Botrytis cinerea* in tomato greenhouses in the Canary Islands and effectiveness of non-chemical treatments against gray mold [J]. World Journal of Microbiology & Biotechnology, 2014, 30(9): 2397-2406.

[4] 尹大芳. 浙江省草莓灰霉菌病菌抗性检测及抗性机制的研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2015.

- [5] SABRINA R, WEBER R W S, DANIEL R, et al. Spread of *Botrytis cinerea* strains with multiple fungicide resistance in German horticulture [J]. *Frontiers in Microbiology*, 2017, 7:2075.
- [6] MADE W. Synergism and antagonism in fungicide mixtures containing sterol demethylation inhibitors [J]. *Phytopathology*, 1996, 86: 1280–1283.
- [7] GREENBERG R, C RESNICK C. A gas liquid chromatographic method for determining imazalil residues in citrus fruit [J]. *Pest Management Science*, 2010, 8(1): 59–64.
- [8] BUS V G. ED₅₀ levels of *Penicillium digitatum* and *P. italicum* with reduced sensitivity to thiabendazole, benomyl and imazalil [J]. *Postharvest Biology & Technology*, 1992, 1(4): 305–315.
- [9] BUS V G, BONGERS A J, RISSE L A. Occurrence of *Penicillium digitatum* and *P. italicum* resistant to benomyl, thiabendazole, and imazalil on citrus fruit from different geographic origins [J]. *Plant Disease*, 1991, 75: 1098–1100.
- [10] ZHU Jinwen, XIE Qingyun, LI Hongye. Occurrence of imazalil resistant biotype of *Penicillium digitatum* in China and the resistant molecular mechanism [J]. *Journal of Zhejiang University Science A*, 2006, 7(2): 362–365.
- [11] WIGLER P W, PATTERSON F K. Inhibition of the multi-drug resistance efflux pump [J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1993, 1154(2): 173–181.
- [12] 黄邦彦, 吴立. 柑橘贮藏防腐剂抑霉唑的引进和应用试验 [J]. *中国南方果树*, 1982 (4): 19–20.
- [13] YIN Dafang, CHEN Xiang, MA Zhonghua, et al. Multiple resistance to QOIs and other classes of fungicides in *Botrytis cinerea* populations from strawberry in Zhejiang Province, China [J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2015, 141(1): 169–177.
- [14] BARDAS G A, MYRESIOTIS C K, KARAOGLANIDIS G S. Stability and fitness of anilinopyrimidine-resistant strains of *Botrytis cinerea* [J]. *Phytopathology*, 2008, 98(4): 443–450.
- [15] MYRESIOTIS C, KARAOGLANIDIS G, TZAVELLA-KLONARI K. Resistance of *Botrytis cinerea* isolates from vegetable crops to anilinopyrimidine, phenylpyrrole, hydroxylanilide, benzimidazole, and dicarboximide fungicide [J]. *Plant Disease*, 2007, 91(4): 407–413.
- [16] 乔广行, 林秀敏, 等. 8 种杀菌剂对番茄灰霉病菌多重抗药性菌株生物活性测定 [J]. *农药*, 2013, 52(1): 57–59.
- [17] SUN Haiyan, WANG Hancheng, CHEN Yu, et al. Multiple resistance of *Botrytis cinerea* from vegetable crops to carbendazim, diethofencarb, procymidone and pyrimethanil in China [J]. *Plant Disease*, 2010, 94(5): 551–556.
- [18] FERNANDEZ-ORTUNO D, CHEN F P, SCHNABEL G. Resistance to cyprodinil and lack of fludioxonil resistance in *Botrytis cinerea* isolates from strawberry in North and South Carolina [J]. *Plant Disease*, 2013, 97(1): 81–85.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 163 页)

- [7] 张玉薇, 刘太国, 刘博, 等. 中国 75 个国审小麦品种抗条锈基因推导 [J]. *植物保护学报*, 2014, 41(1): 45–53.
- [8] 王吐虹, 郭青云, 蔺瑞明, 等. 中国 40 个小麦农家品种和甘肃南部 40 个生产品种抗条锈病基因推导 [J]. *中国农业科学*, 2015, 48(19): 3834–3847.
- [9] LIU Taiguo, PENG Yunliang, CHEN Wanquan, et al. First detection of virulence in *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in China to resistance genes Yr24 (=Yr26) present in wheat cultivar Chuanmai 42 [J]. *Plant Disease*, 2010, 94(9): 1163.
- [10] 刘博, 刘太国, 章振羽, 等. 中国小麦条锈菌条中 34 号的发现及其致病特性 [J]. *植物病理学报*, 2017, 47(5): 1–8.
- [11] 张勃, 贾秋珍, 黄瑾, 等. 小麦条锈菌新菌系贵 22-9 和贵 22-14 发展趋势与毒性分析 [J]. *西北农业学报*, 2015, 24(7): 125–130.
- [12] 刘太国, 章振羽, 刘博, 等. 小麦抗条锈病基因 Yr26 毒性小种的发现及其对我国小麦主栽品种苗期致病性分析 [J]. *植物病理学报*, 2015, 45(1): 41–47.
- [13] LINE R F, QAYOUM A. Virulence, aggressiveness, evolution and distribution of races of *Puccinia striiformis* (the cause of stripe rust of wheat) in North America, 1968–87 [R]. USDA Technical Bulletin No. 1788. National Technical Information Service, 1992.
- [14] WIESER H, KIEFFER R, LELLEY T. The influence of 1B/1R chromosome translocation on gluten protein composition and technological properties of bread wheat [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2000, 80(11): 1640–1647.
- [15] 黄亮, 刘太国, 肖星芷, 等. 中国 79 个小麦品种(系)抗条锈病评价及基因分子检测 [J]. *中国农业科学*, 2017, 50(16): 3122–3139.
- [16] 李敏州, 李强, 巢凯翔, 等. 陕西省 115 个小麦品种(系)抗条锈病基因的分子检测 [J]. *植物病理学报*, 2015, 45(6): 632–640.
- [17] 李峰奇, 韩德俊, 魏国荣, 等. 黄淮麦区 126 个小麦品种(系)抗条锈病基因的分子检测 [J]. *中国农业科学*, 2008, 41(10): 3060–3069.
- [18] 牛永春, 乔奇, 吴立人. 豫鲁皖三省重要小麦品种抗条锈基因推导 [J]. *植物病理学报*, 2000, 30(2): 122–128.
- [19] 李博, 张志毅, 张德强, 等. 植物杂种优势遗传机理研究 [J]. *分子植物育种*, 2007, 5(S1): 36–44.
- [20] ERIKSEN L, AFSHARI F, CHRISTIANSEN M J, et al. Yr32 for resistance to stripe (yellow) rust present in the wheat cultivar Carstens V [J]. *Theoretical & Applied Genetics*, 2004, 108(3): 567–575.

(责任编辑: 杨明丽)