我国云南、湖北和山东葡萄产区霜霉病菌对甲霜灵的抗性检测

周连柱， 贾爽爽， 孔繁芳， 黄晓庆， 张 昊*， 王忠跃*

（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 为明确我国云南省宾川县、湖北省公安县和山东省烟台市葡萄产区霜霉病菌对甲霜灵的抗性发生态势，采用叶盘漂浮法测定了这3个产区共127株葡萄霜霉病菌对甲霜灵的抗性频率及抗性水平。结果显示，不同区域间病菌的抗性频率和抗性水平均存在差异。其中，湖北省公安县霜霉病菌的抗性频率和抗性水平均较高，抗性频率达92.0%，高抗菌株占76.0%，低抗菌株占16.0%，敏感菌株占8.0%；山东省烟台市霜霉病菌的抗性频率为74.0%，低抗菌株占64.0%，高抗菌株占10.0%，敏感菌株占26.0%；云南省宾川县霜霉病菌的抗性频率和抗性水平均较低，抗性频率为29.6%，敏感菌株占70.4%，低抗菌株占29.6%，无高抗菌株。

关键词 葡萄霜霉病菌； 甲霜灵； 抗性频率； 抗性水平； 检测

中图分类号： S 436.631.1 **文献标识码：** A **DOI：** 10.16688/j.zwbh.2019108

Detection of resistance of *Plasmopara viticola* to metalaxyl in grapevine areas of Yunnan, Hubei and Shandong in China

ZHOU Lianzhu， JIA Shuangshuang， KONG Fanfang， HUANG Xiaoqing，
ZHANG Hao*， WANG Zhongyue*

（*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 clarify the development of fungicide resistance of *Plasmopara viticola* to metalaxyl in Binchuan county, Yunnan province, Gongan county, Hubei province, and Yantai city, Shandong province in China, 127 isolates of *P. viticola* collected from these regions were investigated for their resistance frequency and resistance level to the metalaxyl of *P. viticola* with leaf disk floating method. The results showed that resistance frequency and levels of *P. viticola* were different among isolates from different regions. The resistance frequency and levels of *P. viticola* isolates in Gongan county of Hubei province were both higher, with the frequency of 92.0%, among which, the high-resistance type isolates accounted for 76.0%, the low-resistance type accounted for 16.0%, and the sensitive type accounted for 8.0%. The resistance frequency of the *P. viticola* in Yantai city of Shandong province was 74.0%, the low-resistant isolates accounted for 64.0%, high-resistant isolates accounted for 10.0%, and sensitive isolates accounted for 26.0%. However, the resistance frequency and levels of isolates in Binchuan county of Yunnan province were both lower, and the resistance frequency was 29.6%, the sensitive isolates accounted for 70.4%, the low-resistant isolates accounted for 29.6%, and no high-resistant isolates were found.

Key words *Plasmopara viticola*； metalaxyl； resistance frequency； resistance level； detection

由葡萄单轴霉 *Plasmopara viticola*，Berk *et* Curtis 引起的葡萄霜霉病是世界和我国葡萄生产中危害最为严重的一种卵菌病害。该病原菌是一种二倍体活体营养型专性寄生菌[1]，可危害葡萄的所有

收稿日期： 2019-03-06 **修订日期：** 2019-04-16
基金项目： 葡萄及瓜类化肥农药减施技术集成研究与示范（2018YFD0201300）；中央级公益性科研院所基本科研业务费专项（S2019XM04）；国家葡萄产业技术体系（CARS-29）
* 通信作者 E-mail：张昊 zhanghao@caas.cn；王忠跃 wangzhy0301@sina.com

绿色幼嫩组织,主要包括叶片、嫩枝、新梢、花序、幼果等[2]。侵染后造成叶片焦枯早落、树梢扭曲变形、花序干枯死亡等,严重阻碍葡萄叶片的光合作用、影响树体的健康生长和葡萄果实营养的贮藏,最终造成产量和品质的下降,并且该病害传播迅速,病害流行时危害巨大[3]。生产上防治该病害的措施很多,其中最普遍最有效的方法还是使用化学杀菌剂[4-5]。为了有效防控该病害,大量特异性内吸性杀菌剂被相继研发推广使用,如甲霜灵、嘧菌酯、烯酰吗啉等[6-8]。这些特异性杀菌剂在短期内使得葡萄霜霉病得到有效的防控,但许多国家相继报道,随着药剂的普遍频繁使用,病菌对药剂敏感性下降,导致杀菌剂的防效下降[8-9]。植物病原菌抗药性给农业生产带来了巨大损失[10-12]。

甲霜灵(metalaxyl)属于苯基酰胺类杀菌剂,是该类杀菌剂中使用最为频繁和普遍的一种药剂,该杀菌剂与同类杀菌剂之间存在交互抗性,抗性风险高且能够稳定遗传[13-15]。该药剂最早于 1977 年被引入用来防治卵菌病害,对疫病和霜霉病有较好的防治效果[16]。鉴于其独特的杀菌特性和良好的防治效果,一经上市便得到广泛推广与应用。但人们在引入该药剂防治病害时忽略了其抗性风险,在投入市场后不久各国便相继报道一些病原卵菌对其敏感性下降,1978 年以色列最早报道用该药剂防治黄瓜霜霉病失败[17],Fourie 等[18]报道南非地区葡萄霜霉病菌对甲霜灵的抗性频率高达 94.2%,其他地区也出现了类似的抗性情况[19-20]。在国内,多个地区的多种病原菌也都对甲霜灵产生了严重的抗性[21-23]。Sun 等[24]发现采自我国不同地区的 392 株葡萄霜霉病菌中敏感菌株占 13%,低抗菌株占 26%,高抗菌株占 61%,处于中上等水平抗性,表明我国葡萄霜霉病菌对甲霜灵已普遍产生了抗性。为治理甲霜灵的抗性问题,一些作用机理不同的新药剂被相继开发应用,特别是羧酸酰胺类杀菌剂烯酰吗啉替代甲霜灵在一定程度上缓解了由甲霜灵抗性引发的问题。但随着药剂使用年限的增加以及不合理的使用,市场上普遍使用的各类内吸性杀菌剂也都相继出现了抗性问题[25-27]。加之新药剂的研发工作难度较大,年限较长,因此,现有药剂的充分合理使用,以及一些因抗药性问题而暂停使用的药剂的恢复使用是保障农业安全生产的前提,而病原菌抗药性检测则为药剂合理使用和恢复使用提供了科学依据。

云南省宾川县是我国葡萄产业近年来兴起的主力军,种植面积 17.3 万 hm^2,是我国县级葡萄种植面积最大的产地,为我国干热河谷地带葡萄种植的代表;湖北省公安县葡萄产业是我国南方多雨多湿地区(长江流域包括两湖、江浙皖及上海等我国中南部区域)葡萄规模种植的代表,葡萄种植面积 4 000 余 hm^2,明确该地区病菌的抗药性情况对指导我国整个中南部地区抗药性检测和治理工作具有重要的意义;山东省烟台市是胶东半岛最重要的葡萄产区,也是我国现代葡萄产业的发源地,种植模式和种植历史可以代表我国整个北方葡萄产业(有霜霉病危害的埋土防寒区),种植面积超过 66.66 万 hm^2,该区域用药历史较长,葡萄霜霉病菌的抗药性是整个北方地区抗药性的缩影。以上 3 个地区囊括了我国不同地理区域、不同气候条件下葡萄产业情况,明确此 3 个区域葡萄霜霉病菌的抗药性对该区域以及相同环境下的其他葡萄产区霜霉病的防治和探索抗药性发生发展的规律性以及对今后更精确的区域细分抗药性检测及治理有重要的指导意义。本研究拟采用叶盘漂浮法检测以上 3 个葡萄主产区霜霉病菌对甲霜灵的抗性,通过分析其抗性频率及抗性水平,明确田间抗药群体的发生发展动态,为葡萄霜霉病的科学防治、甲霜灵药剂的抗性治理以及苯基酰胺类杀菌剂的恢复使用提供科学的指导。

1　材料和方法

1.1　试验材料

1.1.1　供试药剂

87%甲霜灵原药由先正达(中国)投资有限公司提供,将原药用甲醇溶液配制成浓度为 50 mg/mL 的母液,置于 4℃冰箱保存备用。

1.1.2　接种材料

试验中接种材料为葡萄霜霉病菌感病品种‘里扎马特’,采自中国农业科学院廊坊中试基地,摘取当年生副梢顶端第 4～5 片的健康嫩叶。

1.1.3　供试菌株

于 2017 年间,在葡萄生长季节收集了我国云南省宾川县、湖北省公安县和山东省烟台市 3 个主要葡萄产区霜霉病样,通过分离纯化得到 127 株葡萄霜霉病菌(表 1)。供试菌株 PV 和 YQ 为本实验室先前获得的对甲霜灵敏感性明确的葡萄霜霉病菌

株，其中，PV 为甲霜灵敏感菌株，YQ 为甲霜灵抗性菌株。

表 1 葡萄霜霉病菌采集区域与数目

Table 1 Location and number of the sampled *Plasmopara viticola* isolates

省份 Province	采样点 Location of samples	菌株数目/株 Number of isolates
云南 Yunnan	大理市宾川县	27
湖北 Hubei	荆州市公安县	50
山东 Shandong	烟台市蓬莱市	50
总计 Total		127

1.2 试验方法

1.2.1 葡萄霜霉病菌对甲霜灵的抗性检测

采用叶盘漂浮法[28]进行抗药性检测。将事先配制好的 50 mg/mL 甲霜灵母液用无菌水稀释至 10、100 μg/mL，加入直径 9 cm 培养皿中，每皿 20 mL 药液，以灭菌水加入相同体积的溶剂作为对照，并且所有浓度梯度中溶剂的含量不超过 0.5%。将供试的‘里扎马特’健康嫩叶在室内用清水清洗干净叶面上的尘土，在 1%次氯酸钠溶液中浸泡 30 s 后用无菌水冲洗 3 遍，再用灭菌的滤纸将叶片表面的水滴吸干净，在超净台中用灭菌的打孔器制成直径为 15 mm 的叶盘，将其叶背面向上漂浮于配制好的药液中，每皿 10 个叶盘，每个浓度 3 个重复。将分离纯化得到的新鲜孢子囊用无菌水洗脱后配制成浓度为 1×10^5 个/mL 孢子囊悬浮液，用移液枪滴在叶盘中央，每个叶盘 10 μL，试验中以敏感菌株 PV 作为阴性对照，抗性菌株 YQ 作为阳性对照，相同体积无菌水作为空白对照。将所有药皿黑暗处理 24 h 后用无菌滤纸片小心吸取叶盘上残留的液滴，后置于温度为 21℃，相对湿度为 100%，L//D=16 h//8 h 光暗交替的人工气候箱中培养。阴性对照菌株 PV 仅在空白对照组中发病，在其他药剂浓度下不发病；阳性对照菌株 YQ 同时在空白对照组和两个药剂试验组中均发病，视为试验正常，否则视为试验失败。待对照组正常发病后，调查记录供试菌株的发病情况。

1.2.2 葡萄霜霉病菌对甲霜灵的抗性水平

根据 Fourie 等的研究结果，葡萄霜霉病菌对甲霜灵的最小抑制浓度(MIC)值为 0.1 μg/mL 并以此为敏感菌株参考标准[18]。参考 Stahle-Csech 的抗性倍数检测标准[28]，抗性倍数(RF)＝检测菌株的 MIC 值/敏感参考菌株的 MIC 值。抗性倍数(RF)＞100 即表示产生了抗性，定义当 MIC＝1 μg/mL，RF＝10 时为敏感菌株；当 MIC＝10 μg/mL，RF＝100 时为低抗；当 MIC≥100 μg/mL，RF≥1 000 时为高抗。因此，在葡萄霜霉病菌对甲霜灵的抗性试验研究中采用的两个区分浓度为 10 μg/mL 和 100 μg/mL[18]，即菌株引起空白对照发病，但经10 μg/mL药液处理的叶盘未发病定义为敏感，为敏感菌株；对照组和10 μg/mL 药液处理的叶盘发病但经 100 μg/mL 药剂处理的叶盘未发病定义为低水平抗性，抗性倍数为 100 倍，为低水平抗性菌株；能引起经 100 μg/mL 药剂处理的叶盘发病的菌株定义为高水平抗性，抗性倍数为 1 000 倍，为高抗菌株。

2 结果与分析

2.1 葡萄霜霉病菌对甲霜灵的抗性频率

本研究采用叶盘漂浮法测定了我国云南省宾川县、湖北省公安县和山东省烟台市 3 个地区 127 株葡萄霜霉病菌对甲霜灵的抗性情况(表 2)。检测的 3 个地区 127 株葡萄霜霉病菌中抗性菌株 91 株，整体抗性频率较高，达 71.7%。但不同地区间病菌的抗性频率存在明显差异，抗性频率最高 92.0%，最低 29.6%，相差较大。

表 2 各产区葡萄霜霉病菌对甲霜灵的抗性频率

Table 2 Resistance frequency of *Plasmopara viticola* to metalaxyl in each grapevine area

采集区域 Collecting area	菌株数/株 Number of isolates	抗性菌株/株 Resistant isolates	抗性频率/% Resistance frequency
云南 Yunnan	27	8	29.6
湖北 Hubei	50	46	92.0
山东 Shandong	50	37	74.0
合计 Total	127	91	71.7

2.2 葡萄霜霉病菌对甲霜灵的抗性水平

将检测的 127 株葡萄霜霉病菌进行抗性水平划分，各地区葡萄霜霉病菌对甲霜灵的不同抗性类型占比如表 3 所示。127 株葡萄霜霉病菌中敏感菌株 36 株，占总检测菌株的 28.3%，低水平抗性菌株 48 株，占 37.8%，高水平抗性菌株 43 株，占 33.9%，病菌整体以低抗和高抗类型为主，整体抗性水平较高。不同地区霜霉病菌对甲霜灵的抗性水平不同，且抗性频率较高的地区其抗性水平也存在较大的差异。山东省烟台市葡萄产区霜霉病菌的抗性水平较低，病菌抗性类型以低抗为主，占该地区检测菌株的 64.0%，高抗类型占 10.0%，抗药性风险较高；湖北

省公安县葡萄产区霜霉病菌的抗性频率和抗性水平均较高,病菌多为高抗类型,占该地区检测菌株的76.0%,低抗类型占 16.0%,敏感型占 8.0%,抗药性较为严重;云南省宾川县葡萄产区霜霉病菌的抗性频率和抗性水平均较低,病菌以敏感类型为主,占70.4%,低抗类型占 29.6%,无高抗类型菌株。

表 3　各产区葡萄霜霉病菌对甲霜灵不同敏感型菌株所占比率

Table 3　Percentage of different metalaxyl-sensitivity types of *Plasmopara viticola* in each grapevine area

采集区域 Collecting area	菌株数目/株 Number of isolates	敏感菌株比例/% Percentage of sensitive isolates	低抗菌株比例/% Percentage of low-resistance isolates	高抗菌株比例/% Percentage of high-resistance isolates
云南 Yunnan	27	70.4	29.6	0.0
湖北 Hubei	50	8.0	16.0	76.0
山东 Shandong	50	26.0	64.0	10.0
合计 Total	127	28.3	37.8	33.9

3　讨论

葡萄霜霉病是危害葡萄最为严重的一类卵菌病害,目前,生产上防治该病的主要方式还是化学防治。然而,杀菌剂的大量频繁使用导致病菌产生抗药性的风险增加,田间病菌产生抗药性后药剂的防效下降,为了达到相同的防治效果,生产者加大用药剂量,增加施药次数,在高强度的药剂选择压下,抗药性群体数量迅速上升,最终导致防治失败。据报道,生产上常用的防治霜霉病的几大类药剂的防治效果都在逐年下降,如烯酰吗啉[29]、嘧菌酯[30]等,加之新药剂研发工作难度较大,因此,科学充分地利用现有药剂是有效防控霜霉病的重要手段,而了解田间病原菌抗药性的发展动态与趋势是科学用药的前提和保证。

病菌抗药性的产生不仅增加了生产成本,还加重了农药残留和环境污染。为了避免和延缓病菌抗药性的产生,延长药剂的使用寿命,需对田间病原菌进行抗药性检测,明确其抗性频率和抗性水平。本研究明确了我国云南省宾川县、湖北省公安县和山东省烟台市 3 个地区葡萄霜霉病菌对甲霜灵的抗性情况,测定的 127 株葡萄霜霉病菌中敏感菌株占28.3%,低抗菌株占 37.8%,高抗菌株占 33.9%,病菌整体以低抗和高抗类型为主。此结果相较于Fourie 等关于南非地区葡萄霜霉病菌对甲霜灵抗性的报道,抗性频率和抗性水平均较低[18]。而相较于2010 年 Sun 等报道的国内葡萄霜霉病菌对甲霜灵的抗性情况,病菌的抗性频率和抗性水平也有所降低[24]。病菌对甲霜灵抗性的下降可能与该药剂的限制使用有关,自病菌对甲霜灵抗性普遍发生后,各国各地区均开始限制甲霜灵的使用,不再作为主打药剂单一使用,仅作为混剂或与其他药剂轮换使用[31-33]。这在一定程度上降低了药剂的选择压,抗性群体逐渐被淘汰,病菌的敏感性逐渐恢复,但敏感性恢复所需的具体年限目前还尚未明确。

进一步分析发现,不同区域葡萄霜霉病菌对甲霜灵的抗性情况存在差异。葡萄霜霉病是一种典型的雨水性病害,潮湿的环境有利于霜霉病的暴发流行,各地区不同的气候条件导致霜霉病的发生状况不同,相应的用药剂量和频次存在差异,造成病菌抗药性发生、发展状况不同。位于我国中南部的湖北省公安县,多雨水导致霜霉病发生危害重、农药使用频次高,病菌的抗性频率高达 90%以上,且抗性水平较高,明显高于其他地区;位于我国胶东半岛的山东省烟台市气候条件相对干燥,但用药历史较长,病菌的抗性频率和抗性水平也较高,抗性频率为 74.0%,病菌以低抗类型为主;云南省宾川县葡萄种植历史较短,虽然该区域干热少雨,但因葡萄生育期较长,葡萄霜霉病发生危害时间长,导致用药频次多。据报道,该地区马铃薯晚疫病菌对甲霜灵的抗药性较为严重[34-35]。本研究结果显示该地区葡萄霜霉菌对该药剂的抗性频率和抗性水平均较低,此结果可能与该地区甲霜灵的限制使用有关,近年来甲霜灵已不再作为主打药剂单一使用,降低了药剂的选择压。葡萄霜霉病菌抗药性的发生发展具有一定的规律性,相同用药水平下病菌抗药性发展大致相同,国内其他葡萄产区病菌的抗药性可根据以上 3 个产区抗药性情况进行初步判定,但若要明确具体的抗药性情况,还需对具体产区进行抗药性检测。各地区可依据当地病原菌的抗药性水平和发展动态适时调整相应的防治策略。

病原菌抗药性的发生发展与市场的药剂选择和

农户的用药习惯等密切相关。杀菌剂的不合理使用是导致抗药性问题产生的主要原因，而化学药剂的科学合理使用则是解决抗药性问题的重要措施之一。研究表明，限制内吸性杀菌剂在作物一个生长季节的使用次数以及不同作用机理杀菌剂之间的轮换使用或者混用能够有效降低病原菌的抗性水平[36]。针对甲霜灵的抗性问题，国际杀菌剂抗性工作委员会明确提出生产中甲霜灵应作为保护剂使用而非治疗剂，同一作物一个生长季节内使用次数在2～4次，且两次施药需间隔14 d以上[37]。因此，对于本研究中湖北省公安县和山东省烟台市等病菌抗药性严重及抗药性风险较高的地区，应停止甲霜灵的使用，选择其他与之无正交互抗性的替代药剂，避免抗药性问题进一步发展；而对于云南省宾川县病菌抗性频率和抗性水平较低的地区，可根据甲霜灵的使用建议，继续科学合理地使用。本研究明确了我国云南省宾川县、湖北省公安县和山东省烟台市葡萄产区霜霉病菌对甲霜灵的抗性频率和抗性水平，为各地区葡萄霜霉病菌的科学防治、现有药剂的科学合理使用提供了理论依据。

参考文献

[1] WONG F P, BURR H N, WILCOX W F. Heterothallism in *Plasmopara viticola* [J]. Plant Pathology, 2001, 50(4): 427－432.

[2] 史大卫，高建国，何素珍. 葡萄霜霉病和缺镁症的区别及防治[J]. 落叶果树，2006，38(1)：53.

[3] 王忠跃. 中国葡萄病虫害与综合防控技术[M]. 北京：中国农业出版社，2009.

[4] SPENCER-PHILIPS P T N, GISI U, LEBEDA A. Advances in downy mildew research [M]. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2002: 119－159.

[5] 叶正和，王文相，张爱芳，等. 我国卵菌病害化学防治概况[J]. 安徽农业科学，2000，28(4)：530－533.

[6] ALBERT G, CURTZE J, DRANDAREVSKI C A. Dimethomorph (CME 151), a novel curative fungicide [C]// British Crop Protection Conference-Pests and Diseases, 1988, 1: 17－24.

[7] 司乃国，刘君丽，马学明. 卵菌病害的化学防治现状与防治策略[J]. 农药，2000，39(2)：7－10.

[8] GISI U, WALDNER M, KRAUS N, et al. Inheritance of resistance to carboxylic acid amide (CAA) fungicides in *Plasmopara viticola* [J]. Plant Pathology, 2010, 56(2): 199－208.

[9] GISI U, SIEROTZKI H, COOK A, et al. Mechanisms influencing the evolution of resistance to QoI inhibitor fungicides [J]. Pest Management Science, 2002, 58(9): 859－867.

[10] 周明国. 植物病原菌抗药性群体的形成[J]. 中国植保导刊，1995(2)：21－22.

[11] 马辉杰，王文桥. 黄瓜霜霉病菌抗药性的发生及化学防治[J]. 河北农业科学，2010，14(8)：36－41.

[12] GISI U, SIEROTZKI H. Fungicide modes of action and resistance in downy mildews [J]. European Journal of Plant Pathology, 2008, 122(1): 157－167.

[13] DIRIWACHTER G, SOZZI D, NEY C, et al. Cross-resistance in *Phytophthora infestans* and *Plasmopara viticola* against different phenylamides and unrelated fungicides [J]. Crop Protection, 1987, 6(4): 250－255.

[14] 高智谋，郑小波，陆家云. 疫霉菌对杀菌剂抗性遗传研究进展(综述)[J]. 安徽农业大学学报，1999，26(2)：155－161.

[15] CRUTE I R, HARRISON J M. Studies on the inheritance of resistance to metalaxyl in *Bremia lactucae* and on the stability and fitness of field isolates [J]. Plant Pathology, 2010, 37(2): 231－250.

[16] URECH P A, SCHWINN F, STAUB T. CGA48988, a novel fungicide for the control of late blight, downy mildew and related soil borne diseases [C]// British Crop Protection Conference. 1977: 623－631.

[17] REUVENI M, EYAL H, COHE Y. Development of resistance to metalaxyl in *Pseudoperonospora cubensis* [J]. Plant Disease, 1980, 64(12): 1108－1109.

[18] FOURIE P H. Metalaxyl sensitivity status of downy mildew populations in Western Cape vineyards [J]. South Africa Journal of Enology and Viticulture, 2017, 25(1): 19－22.

[19] DEAHL K L, DEMUTH S P, SINDEN S L, et al. Identification of mating types and metalaxyl resistance in North American populations of *Phytophthora infestans* [J]. American Potato Journal, 1995, 72(1): 35－49.

[20] DAVIDSE L C. Biochemical aspects of phenylamide fungicides-action and resistance [J]. Ciência e Tecnologia de Alimentos, 1987, 28(2): 400－407.

[21] 李炜，张志铭，李川，等. 马铃薯晚疫病菌对瑞毒霉抗性的测定[J]. 河北农业大学学报，1998，21(2)：63－65.

[22] 王文桥，严乐恩. 黄瓜和葡萄霜霉病菌对不同内吸杀菌剂的交互抗药性[J]. 植物保护学报，1996，23(1)：84－88.

[23] 祝海娟，刘大伟，张艳菊，等. 黄瓜霜霉病菌对甲霜灵的抗药性[J]. 西南农业学报，2016，29(8)：1869－1874.

[24] SUN Haiyan, WANG Hancheng, STAMMLER G, et al. Sensitivity of Chinese isolates of *Plasmopara viticola* to metalaxyl and dimethomorph [J]. Journal of Phytopathology, 2010, 158(6): 450－452.

[25] 王喜娜. 我国主要葡萄产区霜霉菌对烯酰吗啉和嘧菌酯的抗药性分析[D]. 北京：中国农业科学院，2017：34.

[26] JACKSON K L, YIN J, JI P. Sensitivity of *Phytophthora capsici* on vegetable crops in Georgia to mandipropamid, dimethomorph, and cyazofamid [J]. Plant Disease, 2012, 96(9): 1337－1342.

[27] TOOFFOLATTI S L, VENTURINI G, CAMPIA P, et al. Sensitivity to cymoxanil in Italian populations of *Plasmopara viticola* oospores [J]. Pest Management Science, 2015, 71(8): 1182－1188.

(下转296页)

zone at different exposure intervals [J]. Journal of Stored Products Research, 2011, 47(4): 306 - 310.

[10] SILVA G N, FARONI L R D, CECON P R, et al. Ozone to control *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) in stored wheat grains [J]. Journal of Stored Products and Postharvest Research, 2016, 7(4): 37 - 44.

[11] AKBAY H, ISIKBER A A, SAGLAM O, et al. Efficiency of ozone gas treatment against *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) (Indian meal moth) in hazelnut [C]// Proceedings of the 12th International Working Conference on Stored-Product Protection. Berlin, Germany: IWCSPP Press, 2018: 695 - 698.

[12] MAHROOF R, AMOAH B. Toxic effects of ozone on selected stored product insects and germ quality of germinating seeds [C]// Proceedings of the 12th International Working Conference on Stored-Product Protection. Berlin, Germany: IWCSPP Press, 2018: 591 - 595.

[13] 陈渠玲，邓树华，周剑宇，等. 臭氧防霉、杀虫和去毒效果的探讨[J]. 粮食储藏，2001，30(2)：16 - 19.

[14] 王亚洲，刘蔓文，唐培安，等. 湖南省12个赤拟谷盗品系对磷化氢和敌敌畏抗性测定[J]. 粮食科技与经济，2018，43(9)：42 - 45.

[15] 唐为民，张旭晶，巫幼华，等. 国内外储粮害虫防治技术研究的新进展(2) [J]. 四川粮油科技，2000(3)：29 - 31.

[16] AGRAFIOTI P, ATHANASSIOU C G, SUBRAMANYAM B. Efficacy of heat treatment on phosphine resistant and susceptible populations of stored product insects [J]. Journal of Stored Products Research, 2019, 81(3): 100 - 106.

[17] FIELDS P G. Temperature: implications for biology and control of stored-product insects [C]// Proceedings of the 12th International Working Conference on Stored-Product Protection. Berlin, Germany: IWCSPP Press, 2018: 412 - 413.

[18] 孟宪兵. 臭氧杀虫除菌技术的实仓应用[J]. 粮食储藏，2011，40(3)：14 - 17.

[19] HARDIN J A, JONES C L, BONJOUR E L, et al. Ozone fumigation of stored grain; closed-loop recirculation and the rate of ozone consumption [J]. Journal of Stored Products Research, 2010, 46(3): 149 - 154.

[20] E Xinyi, SUBRAMANYAM B, LI Beibei. Efficacy of ozone against phosphine susceptible and resistant strains of four stored-product insect species [J/OL]. Insects, 2017, 8(2): 42. DOI:10.3390/insects8020042.

[21] SOUSA A H, FARONI LRD'A, GUEDES R N C, et al. Ozone as a management alternative against phosphine-resistant insect pests of stored products [J]. Journal of Stored Products Research, 2008, 44(4): 379 - 385.

[22] ATHANASSIOU C G, KAVALLIERATOS N G, BRABEC D L, et al. From immobilization to recovery: Towards the development of a rapid diagnostic indicator for phosphine resistance [J]. Journal of Stored Products Research, 2019, 80(1): 28 - 33.

[23] ATHANASSIOU C G, KAVALLIERATOS N G, BRABEC D L, et al. Using immobilization as a quick diagnostic indicator for resistance to phosphine [J]. Journal of Stored Products Research, 2019, 82(6): 17 - 26.

（责任编辑：杨明丽）

（上接230页）

[28] STAHLE-CSECH U, GISI U, SOZZI D. Determination of the sensitivity of *Plasmopara viticola* to phenylamides [J]. EPPO Bulletin, 2010, 22(2): 314 - 316.

[29] BLUM M, WALDNER M, GISI U. A single point mutation in the novel *PvCesA3* gene confers resistance to the carboxylic acid amide fungicide mandipropamid in *Plasmopara viticola* [J]. Fungal Genetics and Biology, 2010, 47(6): 499 - 510.

[30] CHIN K M, CHAVAILLAZ D, KAESBOHRER M, et al. Characterizing resistance risk of *Erysiphe graminis* f. sp. *tritici* to strobilurins [J]. Crop Protection, 2001, 20(2): 87 - 96.

[31] COHEN Y, REUVENI M. Occurrence of metalaxyl-resistant isolates of *Phytophthora infestans* in potato fields in Israel [J]. Phytopathology, 1983, 73(6): 925 - 927.

[32] HARTMAN G L, HUANG Y H. Characteristics of *Phytophthora infestans* isolates and development of late blight on tomato in Taiwan [J]. Plant Disease, 1995, 79(8): 849 - 852.

[33] REIS A, SMART C D, FRY W E, et al. Characterization of isolates of *Phytophthora infestans* from southern and southeastern Brazil from 1998 to 2000 [J]. Plant Disease, 2007, 87(8): 896 - 900.

[34] 曹继芬，孙道旺，杨明英，等. 云南省马铃薯、番茄晚疫病菌对甲霜灵敏感性及地理分布[J]. 西南农业学报，2007，20(5)：1027 - 1031.

[35] 霍超，曹继芬，王昌命，等. 云南省昆明市马铃薯晚疫病菌甲霜灵抗药性监测[J]. 安徽农业科学，2018，46(12)：156 - 157.

[36] 毕秋艳，马志强，韩秀英，等. 葡萄霜霉病菌对甲霜灵抗药性治理及其田间抗药菌株遗传稳定性分析[J]. 植物病理学报，2014，44(3)：302 - 308.

[37] FRAC. General Use Recommendations [EB/OL]. http://www.frac.info/expert-fora/phenylamides/general-use-recommendations.

（责任编辑：杨明丽）