

黑龙江和云南葡萄产区灰霉病菌对多菌灵和异菌脲的抗性检测

贾爽爽, 黄晓庆, 孔繁芳, 周连柱, 王忠跃, 张昊*, 刘永强*

(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 为明确黑龙江省和云南省葡萄灰霉病菌对多菌灵和异菌脲的抗性频率,从两省分别采集、分离到葡萄灰霉病菌 *Botrytis cinerea* 39 株和 38 株,利用菌丝生长速率法测定其对多菌灵和异菌脲的敏感性,并分别检测上述菌株两种药剂靶标基因 β -tubulin 和 *Bos1* 的突变情况。结果表明,黑龙江省葡萄灰霉病菌对多菌灵和异菌脲的抗性频率以及对两种杀菌剂的多药抗性频率分别为 100.0%、51.3%和 51.3%;云南省葡萄灰霉病菌对多菌灵和异菌脲的抗性频率以及对两种杀菌剂的多药抗性频率均为 97.4%。两地区的多菌灵抗性菌株的 β -tubulin 基因上均发生了 E198A 或 E198V 突变。异菌脲抗性菌株的 *Bos1* 基因存在 I365N、I365S、Q369P+N373 和 Q369P 等 4 种突变类型。研究结果表明,在上述两个地区不宜单独使用多菌灵和异菌脲防治葡萄灰霉病,应使用其他作用机制不同且抑菌效果好的杀菌剂。

关键词 葡萄灰霉病菌; 多菌灵; 异菌脲; 敏感性; 抗性频率; 抗性突变

中图分类号: S 481.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2020248

Detection of resistance of *Botrytis cinerea* to carbendazim and iprodione in grapevine areas of Heilongjiang and Yunnan

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

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

Abstract 39 and 38 isolates were collected from Heilongjiang province and Yunnan province, to investigate the resistance of *Botrytis cinerea* to carbendazim and iprodione by mycelium growth method. β -tubulin and *Bos1* gene were sequenced to detect resistance mutations to carbendazim and iprodione. The result showed that resistance frequency of carbendazim, iprodione and multiple fungicide resistance to carbendazim and iprodione in Heilongjiang province were 100.0%, 51.3% and 51.3%, respectively. All of resistance frequency of carbendazim, iprodione and multiple fungicide resistance to carbendazim and iprodione in Yunnan province were 97.4%. Carbendazim-resistant isolates in this study possess E198A or E198V mutation in the β -tubulin gene. I365N, I365S, Q369P+N373 and Q369P mutations were found in the *Bos1* gene of iprodione-resistant strains. The results showed that carbendazim and iprodione should not be used alone to control grape grey mold in the above two regions, and other fungicides with different action mechanisms and good inhibitory effect should be used.

Key words *Botrytis cinerea*; carbendazim; iprodione; sensitivity; resistance frequency; resistant mutation

由灰葡萄孢 *Botrytis cinerea* 引起的葡萄灰霉病不仅是葡萄生产中的常见病害,更是产后贮藏期

的毁灭性病害,严重影响葡萄的产量和质量,对葡萄产业造成严重的经济损失^[1]。目前生产上用于防治

收稿日期: 2020-05-14

修订日期: 2020-05-21

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0201300);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(S2019XM04);主要经济作物优质高产与产业提质增效科技创新(2019YFD1002000);国家葡萄产业技术体系(CARS-29)

* 通信作者 E-mail: 张昊 zhanghao@caas.cn; 刘永强 lyq364467268@163.com

该病害的杀菌剂主要有苯并咪唑类、二甲酰亚胺类、烟酰胺类、苯氨基嘧啶类等^[2]。葡萄灰霉病菌产孢量大、易变异,适应性强,随着杀菌剂的频繁、大量使用,该病菌已对多种杀菌剂产生不同程度的抗药性^[3]。

多菌灵属于苯并咪唑类内吸性杀菌剂,作用于真菌 β -微管蛋白,抑制孢子芽管分隔和菌丝生长。该杀菌剂自20世纪60年代问世以来被广泛用于灰霉病的防治,但其作用位点单一,具有较高的抗性风险。随着该药剂的频繁使用,灰霉病菌已对其产生严重的抗药性。日本、巴西、希腊以及我国多个地区的番茄及草莓上的灰霉病菌均出现了大量抗性菌株^[4-7]。大量研究表明,灰葡萄孢对多菌灵的抗性主要与其靶标基因 β -tubulin上的E198A、E198V、E198K、E198G或F200Y突变有关,各个国家或地区检测出的抗性突变类型和比例存在不同,但总体上以E198A和E198V两种抗性突变类型为主^[7-10]。

异菌脉属于二甲酰亚胺类杀菌剂,该杀菌剂可以激活丝状真菌中参与调控菌株对渗透压敏感性的双组分组氨酸激酶信号途径(TCHK信号途径)。研究表明,该途径中的组氨酸激酶OSI元件为二甲酰亚胺类杀菌剂的作用靶标^[11]。二甲酰亚胺类杀菌剂的作用位点较多,可使灰霉病菌菌丝和芽管生长受阻,畸形或涨破,从而起到抑制病原菌的作用^[12-13]。随着异菌脉的不断重复使用,灰霉病菌对该杀菌剂逐渐产生了抗药性。美国灰霉病菌的异菌脉抗性频率从2014年的20.05%上升至2015年的62%^[14-15]。我国很多地区也发现了大量抗异菌脉灰霉菌株,例如,2006年浙江、江苏、山东和辽宁4省的蔬菜灰霉病菌对异菌脉的平均抗性频率为20%左右^[16];2012年江苏草莓灰霉病菌对异菌脉的抗性频率达到64.6%^[17];北京市草莓灰霉病菌对异菌脉的抗性频率由2013年的40.4%上升至2014年的45.3%,且不同采样点的抗性频率存在明显的不同^[18]。随着对灰霉病菌异菌脉抗性机理研究的不断深入,发现灰霉病菌对异菌脉的抗性主要与Bos1基因的I365S、I365N、I365R、Q369P、V368F+Q369H、Q369P+N373S和N373S突变有关^[19]。

上述灰霉病菌对多菌灵和异菌脉的抗性报道主要集中在蔬菜及草莓病害上,目前葡萄灰霉病菌相关抗药性研究较少。2019年,郑媛萍等发现山东蓬莱地区的葡萄灰霉病菌对多菌灵和异菌脉的抗性频率均高达90%以上^[20]。黑龙江省哈尔滨市和云南省

宾川县是我国的主要葡萄产区,多菌灵和异菌脉在这两个地区已使用多年,明确该地区葡萄灰霉病菌对这两种杀菌剂的抗性频率及抗性突变类型,为进一步建立针对这两种药剂抗性的快速分子检测技术及指导当地葡萄灰霉病的有效防控奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 菌株的采集、分离纯化和保存

2017年从黑龙江省哈尔滨市和云南省宾川县葡萄主要种植区采集葡萄灰霉病果装入自封袋并用冰袋降温带回实验室。在实验室对病样进行分离培养,产孢后使用接种环蘸取少量孢子划线进行分离培养,1 d后挑取单个菌落进行培养,两个地区共分离纯化得到葡萄灰霉病菌77株,其中采集自黑龙江省哈尔滨市的菌株共39株,采集自云南省宾川县的菌株共38株,将培养好的菌株打取直径为5 mm的菌饼置于40%甘油中于-80℃保存备用。

1.2 供试药剂与培养基

98%多菌灵原药和98.4%异菌脉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。多菌灵溶于0.1 mol/L的盐酸溶液中,配制成5 mg/mL的母液;异菌脉溶于100%的甲醇,配制成10 mg/mL的母液。

马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)培养基:土豆去皮洗净切成约1 cm³的小块,准确称取200 g,加入1 L ddH₂O煮至熟透,过滤后定容至1 L,加入20 g葡萄糖和20 g琼脂粉,加热并搅拌至完全溶解,用锥形瓶分装后121℃高压灭菌20 min。

1.3 葡萄灰霉病菌对多菌灵和异菌脉的抗性频率测定

测定葡萄灰霉病菌对多菌灵和异菌脉的抗性频率,其中多菌灵的鉴别浓度为10 μ g/mL,异菌脉的鉴别浓度为5 μ g/mL^[20]。在培养2 d的菌落边缘打取直径为5 mm的菌饼,接种于含药和对照PDA平板上,每个处理重复3次。22℃培养箱L/D=12 h/12 h光暗交替培养2 d后,观察并记录菌株生长情况。分别统计两个地区葡萄灰霉病菌对多菌灵和异菌脉的抗性频率。抗性频率=抗性菌株数/所测菌株总数 $\times$ 100%。

1.4 β -tubulin基因和Bos1基因序列测定

使用E-Z96真菌基因组DNA提取试剂盒(D3390-02)(OMEGA)提取供试菌株的基因组DNA。使用引物TubA F/R:CGCGAGGAGTTC-

CCAGATCG/GACGGCGGAAACCAAGTGG 和 *Bos1* F/R:AGCCCAGGGTGAGATACTCC/TTTGCGAC-AGCTGTTGTGAC^[2] 分别扩增上述菌株的 *βtubulin* 和 *Bos1* 基因。引物由上海生工生物有限公司合成。PCR 扩增体系为 40 μL,包括 14 μL ddH₂O、20 μL 2×*Taq* Mix,上下游引物各 2 μL,DNA 模板 2 μL。PCR 反应程序为:95℃ 预变性 5 min;94℃ 变性 30 s,56℃ 退火 30 s,72℃ 延伸 1 min,30 个循环;最后 72℃ 延伸 10 min。扩增产物的测序由生工生物工程(上海)股份有限公司完成,测序结果使用 ge-

neous 软件进行整理和分析。

2 结果与分析

2.1 葡萄灰霉病菌对多菌灵和异菌脲的抗性频率

黑龙江省的 39 株葡萄灰霉病菌均对多菌灵产生抗性,抗性频率为 100.0%,有 20 株对异菌脲产生抗性,抗性频率为 51.3%,对多菌灵和异菌脲的多药抗性频率为 51.3%。云南省的 38 株葡萄灰霉病菌中有 37 株对多菌灵和异菌脲均产生了抗性,抗性频率均为 97.4%(表 1)。

表 1 黑龙江和云南产区葡萄灰霉病菌对多菌灵和异菌脲的抗性频率

Table 1 Resistance frequency of *Botrytis cinerea* to carbendazim and iprodione in grapevine areas of Heilongjiang and Yunnan

采集区域 Collecting area	菌株数量/株 Number of isolates	多菌灵 carbendazim		异菌脲 iprodione	
		抗性菌株数量/株 Resistant isolate	抗性频率/% Resistance frequency	抗性菌株数量/株 Resistant isolate	抗性频率/% Resistance frequency
黑龙江 Heilongjiang	39	39	100.0	20	51.3
云南 Yunnan	38	37	97.4	37	97.4

2.2 葡萄灰霉病菌对多菌灵的抗性突变

对供试菌株的测序结果表明,所有多菌灵敏感菌株均未检测到 *βtubulin* 基因上的突变,在所有多菌灵抗性菌株中均检测到了 E198A 或 E198V 突变。两个地区的多菌灵抗性突变类型分布不同。在黑龙江省的 39 株多菌灵抗性菌株中,E198A 突变株有 35 株,占比为 89.7%,E198V 突变株有 4 株,占比为 10.3%。云南省的 37 株多菌灵抗性菌株中,E198A 突变株有 18 株,占比为 48.6%,E198V 突变株有 19 株,占比为 51.4%(图 1)。

2.3 葡萄灰霉病菌对异菌脲的抗性突变

对供试菌株的测序结果表明,所有异菌脲敏感菌株均未检测到 *Bos1* 基因上的突变,在所有异菌脲抗性菌株中均检测到了 I365N、I365S、Q369P+N373S 或 Q369P 突变。两个地区的异菌脲抗性突变类型分布不同。20 株采自黑龙江省哈尔滨市异菌脲抗性菌株中,共有 I365N、I365S、Q369P+N373S 和 Q369P 4 种突变类型,占比分别为 45.0%、20.0%、30.0%和 5.0%。云南省宾川县的 37 株异菌脲抗性菌株只有 I365N、I365S 和 Q369P+N373S 3 种抗性突变,占比分别为 10.8%、59.5%和 29.7%(图 2)。

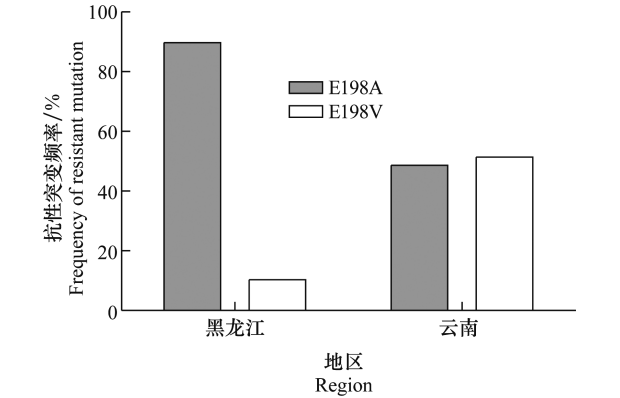


图 1 黑龙江和云南产区葡萄灰霉病菌多菌灵抗性突变类型及分布

Fig. 1 Frequency and distribution resistant mutations of *Botrytis cinerea* to carbendazim in grapevine areas of Heilongjiang and Yunnan

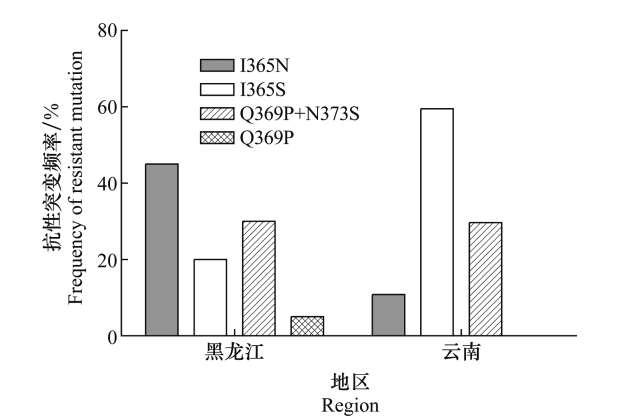


图 2 黑龙江和云南产区葡萄灰霉病菌异菌脲抗性突变类型及分布

Fig. 2 Frequency and distribution resistant mutations of *Botrytis cinerea* to iprodione in grapevine areas of Heilongjiang and Yunnan

3 结论与讨论

根据文献报道,国内外灰霉病菌已对多菌灵产生较普遍的抗药性。1987 年我国就已经发现该病菌对多菌灵具有高度耐药性^[21],且随着多菌灵的频繁使用,抗性频率逐渐上升。2012 年—2013 年湖北省草莓灰霉病菌对多菌灵的抗性频率为 49.32%^[7]。2013 年—2014 年长三角地区果蔬灰霉病菌对多菌灵的抗性频率为 70.48%^[22]。2015 年山西省灰葡萄孢对多菌灵的抗性频率为 90.32%^[4]。国外也对灰葡萄孢的多菌灵抗性进行了诸多报道。2008 年—2009 年希腊灰葡萄孢对多菌灵的抗性频率为 60.5%^[5]。本研究结果表明,黑龙江省和云南省的葡萄灰霉病菌对多菌灵的抗性频率分别到达 100.0%和 97.4%,表明多菌灵对这两个地区的葡萄灰霉病菌几乎丧失防效。鉴于对多菌灵抗的抗药性可稳定遗传^[21],建议生产上停止多菌灵的使用,改用其他作用机制不同于多菌灵且抑菌效果好的杀菌剂。

二甲酰亚胺类杀菌剂异菌脲也是生产上防治灰霉病的常用杀菌剂,自 20 世纪 70 年代开始使用,到目前为止多地区的多种作物上的灰霉病菌均对该杀菌剂产生了抗药性^[23-26]。国外的异菌脲抗性灰霉病菌发现的较早,在 1986 年英国的灰霉病菌对异菌脲的抗性频率就已经达到 45.3%^[26]。美国灰霉病菌的异菌脲抗性频率从 2014 年的 20.05%上升至 2015 年的 62%^[14-15]。我国很多地区也发现了大量抗异菌脲灰霉病菌株。本研究结果中黑龙江省和云南省的葡萄灰霉病菌对异菌脲的抗性频率分别达到 51.3%和 97.4%,表明上述两个地区的葡萄灰霉病菌对异菌脲抗性频率较高,尤其是在云南宾川县,该药剂几乎失去防效。据报道,灰霉病菌对异菌脲的抗性并不稳定,持久性弱,它可以产生对异菌脲敏感的孢子,使得菌株对异菌脲再次敏感^[27]。所以,建议暂停异菌脲的使用或与其他作用机制不同的杀菌剂交替使用,以便使葡萄灰霉病菌恢复对异菌脲的敏感性,延长异菌脲的使用寿命。

对多菌灵和异菌脲的多药抗性研究结果表明,黑龙江省的葡萄灰霉病菌对多菌灵和异菌脲的多药抗性频率达到了较高的水平,为 51.3%。云南省的多药抗性频率更高,达到了 97.4%,几乎所有的葡萄灰霉病菌对多菌灵和异菌脲均具有抗性。因此,建议生产上两省葡萄产区避免多菌灵和异菌脲同时使用。

本研究发现,黑龙江省和云南省葡萄灰霉病菌的多菌灵抗性突变仅发生在 *βtubulin* 基因的第 198

位上,有 E198A 和 E198V 两种类型,未检测到其他突变。并且 E198A 和 E198V 抗性突变在这两个地区的分布存在明显差异,其中,黑龙江省的大部分多菌灵抗性菌株为 E198A 突变(89.7%),而云南省这两种突变类型所占的比例相似,推测这可能与南、北地区的气候差异导致不同突变类型菌株的适合度不同有关。*Bos1* 基因上与灰霉病菌对异菌脲的抗性有关的突变较多,其中 I365N 和 I365S 出现的频率相对较高,并且不同地区检测到的抗性突变类型存在差异^[10, 14-15, 18, 28-30]。而黑龙江省哈尔滨市葡萄灰霉病菌对异菌脲的抗性突变有 I365N、I365S、Q369P+N373S 和 Q369P 4 种类型,云南省宾川县有 I365N、I365S 和 Q369P+N373S 3 种。两个地区不同抗性突变类型的分布存在差异,其中黑龙江省 I365N 突变类型所占的比例最大,达到 45%;而云南省宾川县的抗性突变类型主要为 I365S(59.5%)。

综上所述,黑龙江省和云南省的葡萄灰霉病菌对多菌灵和异菌脲的抗性频率均很高。其中,多菌灵的药效基本丧失,建议生产上立即停止使用;而对异菌脲,建议暂停或者与其他药剂交替使用。这两个地区多菌灵抗性菌株 *βtubulin* 基因存在 E198A 和 E198V 两种突变类型;引起异菌脲的抗性突变主要有 I365N/S 和 Q369P 3 种,可依据上述靶标突变位点建立相应的抗药性快速分子检测技术,为更大范围内进行葡萄灰霉病菌对多菌灵和异菌脲抗性的检测或监测以及病害的防治奠定理论基础。

参考文献

- [1] 王忠跃. 葡萄健康栽培与病虫害防控[M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 2017.
- [2] 郑媛萍. 我国葡萄灰霉病菌对主要杀菌剂的抗药性检测[D]. 北京:中国农业科学院, 2017.
- [3] 尹大芳. 浙江省草莓灰霉病菌抗药性检测及抗性机制的研究[D]. 杭州:浙江大学, 2015.
- [4] 陈晓斌,王海燕,罗春香,等. 西葫芦灰霉病菌对多菌灵的敏感性检测[J]. 黑龙江农业科学, 2018(10): 68-72.
- [5] BARDAS G A, VELOUKAS T, KOUTITA O, et al. Multiple resistance of *Botrytis cinerea* from kiwifruit to SDHIs, QoIs and fungicides of other chemical groups [J]. Society of Chemical Industry, 2009, 66(9): 967-973.
- [6] LOPES U P, ZAMBOLIM L, CAPOIANGO N P, et al. Resistance of *Botrytis cinerea* to fungicides controlling gray mold on strawberry in Brazil [J]. Bragantia, 76(2): 266-272.
- [7] FAN Fei, LI Na, LI Guoqing, et al. Occurrence of fungicide resistance in *Botrytis cinerea* from greenhouse tomato in Hubei province, China [J]. Plant Disease, 2016, 100(12): 2414-2421.
- [8] 尚岩. 桃、樱桃灰霉病菌对七种杀菌剂的抗药性研究[D]. 武

- 汉:华中农业大学, 2016.
- [9] 刘圣明. 灰葡萄孢菌抗多菌灵 β -微管蛋白基因在禾谷镰孢菌中的表达研究[D]. 南京:南京农业大学, 2011.
- [10] BANNO S, FUKUMORI F, ICHIISHI A, et al. Genotyping of benzimidazole-resistant and dicarboximide-resistant mutations in *Botrytis cinerea* using real-time polymerase chain reaction assays [J]. Phytopathology, 2008, 98(4): 397–404.
- [11] KOJIMA K, TAKANO Y, YOSHIMI A, et al. Fungicide activity through activation of a fungal signaling pathway [J]. Molecular Microbiology, 2004, 53(6): 1785–1796.
- [12] 袁章虎, 张小凤, 韩秀英. 灰霉菌抗药性研究进展[J]. 河北农业大学学报, 1996, 19(3): 107–110.
- [13] 王芊. 番茄灰霉病菌抗药性及抗药性控制研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2007.
- [14] AVENOT H F, JOEL Q, RYAN P, et al. Different levels of resistance to cyprodinil and iprodione and lack of fludioxonil resistance in *Botrytis cinerea* isolates collected from pistachio, grape, and pomegranate fields in California [J]. Crop Protection, 2018, 112: 274–281.
- [15] GRABKE A, FERNANDEZ-ORTUNO D, AMIRI A, et al. Characterization of iprodione resistance in *Botrytis cinerea* from strawberry and blackberry [J]. Phytopathology, 2014, 104(4): 396–402.
- [16] 张传清, 张雅, 魏方林, 等. 设施蔬菜灰霉病菌对不同类型杀菌剂的抗性检测[J]. 农药学报, 2006, 8(3): 245–249.
- [17] 潘以楼, 朱桂梅, 郭建. 江苏草莓灰霉病菌对5种杀菌剂的抗药性[J]. 江苏农业学报, 2013(2): 75–80.
- [18] 陈帅民, 芦帆, 张臻, 等. 北京地区草莓灰霉病菌对异菌脲的抗性及其抗性分子机制[J]. 植物保护, 2015, 41(5): 100–104.
- [19] 杜颖. 辽宁省番茄灰霉病菌对腐霉利抗药性机制及快速检测技术研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学, 2018.
- [20] 郑媛萍, 周连柱, 孔繁芳, 等. 山东蓬莱葡萄灰霉菌对7种杀菌剂的抗药性检测[J]. 植物保护, 2019, 45(1): 164–169.
- [21] 周明国, 叶钟音. 植物病原菌对苯并咪唑类及相关杀菌剂的抗药性[J]. 植物保护, 1987, 13(2): 31–33.
- [22] 卢晓雪, 聂国媛, 孙海燕, 等. 长三角地区果蔬灰霉病菌对5种杀菌剂的抗药性检测[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(24): 97–100.
- [23] KATAN T. Resistance to 3, 5-dichlorophenyl-N-cyclic imide ('dicarboximide') fungicides in the grey mold pathogen *Botrytis cinerea* on protected crops [J]. Plant Pathology, 1982, 31(2): 133–141.
- [24] LEROUX P, CHAPELAND F, DESROSSER D, et al. Patterns of cross-resistance to fungicides in *Botryotinia fuckeliana* (*Botrytis cinerea*) isolates from French vineyards [J]. Crop Protection, 1982, 18: 687–697.
- [25] LEROUX P, FRITZ R, DEBIEU D, et al. Mechanisms of resistance to fungicides in field strains of *Botrytis cinerea* [J]. Pest Management Science, 2002, 58: 876–888.
- [26] LOCKE T, FLETCHER J T. Incidence of benomyl and iprodione resistance in isolates of *Botrytis cinerea* in tomato crops in England and Wales in 1986 [J]. Plant Pathology, 1988, 37(3): 381–384.
- [27] FARETRA F, POLLASTRO S. Genetic basis of resistance to benzimidazole and dicarboximide fungicides in *Botrytis fuckeliana* (*Botrytis cinerea*) [J]. Mycological Research, 1991, 95(3): 943–951.
- [28] MA Zhonghua, YAN Leiyan, LUO Yong, et al. Sequence variation in the two-component histidine kinase gene of *Botrytis cinerea* associated with resistance to dicarboximide fungicides [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2007, 88(3): 300–306.
- [29] 礼茜, 严蕾艳, 童英富, 等. 浙江两地区草莓灰霉病菌(*Botrytis cinerea*)对扑海因的抗药性及其分子机制[J]. 果树学报, 2007, 24(3): 344–348.
- [30] FERNANDEZ-ORTUNO D, GRABKE A, LI Xingpeng, et al. Independent emergence of resistance to seven chemical classes of fungicides in *Botrytis cinerea* [J]. Phytopathology, 2015, 105(4): 424–432.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 238 页)

- [3] 仵均祥, 宋梁栋, 王太泉, 等. 陕西关中玉米田首次发现劳氏黏虫及其在局地危害性调查[J]. 陕西农业科学, 2018, 64(12): 31–34.
- [4] 中国农业科学院植物保护研究所. 中国农作物病虫害(上册)[M]. 北京: 中国农业出版社, 1979: 697–720.
- [5] JIANG Xingfu, LUO Lizhi, ZHANG Lei, et al. Regulation of migration in the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker) in China: A review integrating environmental, physiological, hormonal, genetic and molecular factors [J]. Environmental Entomology, 2011, 40(3): 516–533.
- [6] 江幸福, 张蕾, 程云霞, 等. 我国粘虫研究现状及发展趋势[J]. 应用昆虫学报, 2014, 51(4): 881–889.
- [7] 姜玉英, 刘杰, 曾娟. 高空测报灯监测粘虫区域性发生动态规律探索[J]. 应用昆虫学报, 2016, 53(1): 191–199.
- [8] 段云, 李慧玲, 陈琦, 等. 粘虫田间种群的室内饲养研究[J]. 应用昆虫学报, 2018, 55(5): 870–874.
- [9] 程登发, 赵中华. 我国部分地区黏虫暴发原因分析与对策建议[J]. 种子科技, 2016, 34(10): 89–90.
- [10] 黄芊, 蒋显斌, 凌炎, 等. 劳氏黏虫在4种寄主植物上的生长发育和繁殖[J]. 华南农业大学学报, 2018, 39(3): 48–53.
- [11] 陈立涛, 马继芳, 王梅娟, 等. 河北馆陶首次发现劳氏黏虫为害穗期夏玉米[J]. 中国植保导刊, 2020, 40(5): 50–51.
- [12] 郭松景, 李世民, 马林平, 等. 劳氏黏虫幼虫在玉米田的空间分布及抽样技术研究[J]. 河南农业大学学报, 2001, 35(3): 245–247.
- [13] 陈琦, 段云, 侯艳红, 等. 草地贪夜蛾与玉米灌浆期3种常见夜蛾科害虫的形态特征比较[J]. 植物保护, 2020, 46(1): 34–41.
- [14] 马丽, 高丽娜, 黄建荣, 等. 黏虫和劳氏黏虫形态特征比较[J]. 植物保护, 2016, 42(4): 42–46.
- [15] 陈琦, 沈海龙, 陈莉, 等. 两种灯光诱测工具对粘虫种群的监测效果[J]. 应用昆虫学报, 2018, 55(5): 843–848.

(责任编辑: 田 喆)