◆ 专论:杀菌剂(特约稿) ◆

中国防治果蔬灰霉病的杀菌剂应用及 防控关键技术

赵建江, 路粉, 吴杰, 毕秋艳, 刘翔宇, 韩秀英, 王文桥

(河北省农林科学院植物保护研究所, 河北省农业有害生物综合防治工程技术研究中心, 农业农村部华北北部作物有害生物综合治理重点实验室, 河北保定 071000)

摘要:由葡萄孢属真菌(*Botrytis* spp.)引起的果蔬灰霉病是一种世界性的植物病害,采收前及采收后均能对果蔬产生危害,造成严重经济损失。介绍了我国果蔬灰霉病的发生与为害、杀菌剂应用现状、防治中存在的问题、防控关键技术,以期为灰霉病的科学防控提供参考。

关键词:灰霉病;杀菌剂;化学防治;应用现状;抗药性

中图分类号:S 432 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1671-5284.2024.02.005

Application of fungicides and key technologies for controlling gray mold on fruit and vegetable in China

ZHAO Jianjiang, LU Fen, WU Jie, BI Qiuyan, LIU Xiangyu, HAN Xiuying, WANG Wenqiao

(Plant Protection Institute, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, IPM Center of Hebei Province, Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northern Region of North China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Hebei Baoding 071000, China)

Abstract: Gray mold on fruit and vegetable is a worldwide plant disease, caused by *Botrytis* spp. It poses a threat to fruit and vegetable before and after harvest. In this paper, the occurrence and damage of gray mold in China, application status of fungicides on this disease, the problems and key technologies for controlling gray mold on fruit and vegetable were introduced. Moreover, the review provided the basis for scientific controlling gray mold.

Key words: gray mold; fungicide; chemical control; application status; resistance

灰霉病是一类重要的植物病害,可为害草莓、葡萄、番茄、黄瓜、茄子、辣椒等果蔬作物,在植物的生长期和储运期均能发生,造成巨大的产量和经济损失^[1-2]。因此,灰霉病的防控研究对于农业生产具有重要意义。

目前,由于缺乏有效的商业化抗病品种,灰霉病的防治仍主要依赖喷施化学杀菌剂。农业农村部2023年印发的《到2025年化学农药减量化行动方案》指出,到2025年,建立健全环境友好、生态包容的农作物病虫害综合防控技术体系,科学安全用药技术水平全面提升,果菜茶等经济作物化学农药使

用强度力争比“十三·五”期间降低10%。由此可见,随着社会的发展和人民生活水平的提高,对化学农药的科学施用提出了更高的要求。因此,本文拟通过介绍灰霉病发生与为害、杀菌剂应用现状、防治中存在的问题及综合防控关键技术,以期为灰霉病的科学防控及实现化学杀菌剂的减量施用提供参考。

1 灰霉病的发生与为害

1.1 灰霉病的病原

灰霉病是由葡萄孢属(*Botrytis* spp.)真菌感染引起的一种重要的世界性病害。目前已知葡萄孢属

收稿日期:2023-02-26

基金项目:河北省省级科技计划资助(21326510D);河北省农林科学院科技创新专项(2022KJCXZX-ZBS-12)

作者简介:赵建江(1982—),河北邢台人,硕士,研究员,主要从事杀菌剂应用技术研究。E-mail: chillgess@163.com

真菌包含30多个种属^[3]。其中,灰葡萄孢(*Botrytis cinerea* Pers.: Fr.)的寄主范围十分广泛,能侵染200多种植物^[3],包括多种经济作物,如番茄、黄瓜、茄子、葡萄和草莓等。因寄主范围广、危害重,灰葡萄孢曾被列为10种最重要植物病原之一,仅次于稻瘟病菌(排名第一)^[4]。

1.2 灰霉病的为害

灰霉病在露地和设施作物上均可发生,但因设施内湿度高,该病通常在设施内种植的蔬菜、水果等重要的经济作物上广泛流行。在适宜的环境条件下,植株的发病部位会产生大量灰色霉层,造成严重的经济损失^[3]。灰霉病可为害作物的茎、叶、花和果实,常造成果实腐烂,如番茄、黄瓜、草莓和葡萄因灰霉病导致的果实腐烂,造成的产量损失在10%~30%,严重者在60%以上。番茄、草莓和葡萄等作物采摘后,在储存、运输和销售过程中,仍会因灰霉病菌的侵染,引起腐烂。

1.3 灰霉病的发生规律

在植物的整个生育期,甚至采后,灰霉病均可发生。灰霉病菌侵染植物后,初期出现水渍状病斑,接着组织塌陷腐烂,病菌菌丝迅速生长并产生大量分生孢子,在病部形成灰色霉层。若环境的温、湿度适宜,这些分生孢子将成为再侵染的侵染源^[5]。

环境温、湿度是影响灰霉病发生与流行的重要因素。高湿度是灰霉病菌分生孢子萌发的关键,当相对湿度高于90%或者植株表面有自由水时,分生孢子能够顺利萌发。灰霉病流行最适宜的温度是15℃~20℃,在此温度条件下,相对湿度在90%以上,持续时间超过4 h,将促进灰霉病发生^[3]。作为气传病害,空气中灰霉病菌分生孢子密度也是影响灰霉病发生与流行的重要因素。当每立方空气中分生孢子个数超过10个时,花瓣受侵染数量明显上升;当每立方空气中孢子超过100个时,随着分生孢子密度增加,植株受侵染部位的数量呈上升趋势^[6]。

2 防治果蔬灰霉病的杀菌剂应用现状

随着设施农业的发展,灰霉病对我国农业的影响日益加剧。杀菌剂已成为防控灰霉病的必要措施。2017年6月1日实施的《农药管理条例》第三十四条规定:农药使用者应当严格按照农药的标签标注的使用范围、使用方法和剂量、使用技术要求和注意事项使用农药,不得扩大使用范围、加大用药剂量或者改变使用方法。农药使用者不得使用禁用的农药。根据条例,果蔬的种植者在防治病虫害的过

程中,所选用的农药必须获得登记许可。查询中国农药信息网,截至2024年2月,在我国登记用于防治果蔬灰霉病,登记有效期内的杀菌剂产品共有566个,相比2020年登记数量(471个),增加了95个^[6]。在566个产品中,登记的单剂产品有367个,占登记总数的64.8%;登记的复配制剂产品有199个,占登记总数的35.2%。共涉及有效成分57个,与2020年相比,增加了7个有效成分。

2.1 防治果蔬灰霉病的药剂种类

目前,在生产上用于防治灰霉病的杀菌剂,按有效成分可分为18类^[7](表1),其中化学杀菌剂占14类。

二硫代氨基甲酸酯类杀菌剂是一类广谱、保护性杀菌剂,用于防治果蔬灰霉病的有效成分主要包含代森锰锌和福美双。这类杀菌剂均以复配的形式用于灰霉病的防治,代森锰锌仅有1个与多菌灵、异菌脲复配的登记产品;福美双多与腐霉利、啞霉胺、啞菌噁唑等药剂复配,登记产品共有36个。

氯化脲类杀菌剂以百菌清为代表。百菌清是一种广谱、保护性杀菌剂,生产上可用的产品共22个,其中,单剂产品3个,复配剂19个。

邻苯二甲酰亚胺类杀菌剂以克菌丹为代表。克菌丹同样是一种保护性杀菌剂,兼有一定的治疗作用,生产中可用的产品有5个,均为单剂。

苯基吡咯类杀菌剂目前仅有咯菌腈1个有效成分。咯菌腈为保护性杀菌剂,具有一定的渗透性,对灰霉病菌活性高,大多数地区的灰霉病菌对咯菌腈仍敏感。生产中可选用的咯菌腈产品有41个,其中,复配剂34个,涉及的配方组合有6个,与其复配的杀菌剂包括啞菌噁唑、啞酰菌胺、氟唑菌酰羟胺、腐霉利、乙霉威和异菌脲。

胍类杀菌剂仅有双胍三辛烷基苯磺酸盐1个有效成分。双胍三辛烷基苯磺酸盐是一种保护性的杀菌剂,生产上可用的产品仅有2个,1个单剂和1个与吡唑醚菌酯的复配剂。

氧化性杀菌剂包含过氧乙酸和二氯异氰尿酸钠2个有效成分。该类杀菌剂杀菌谱广,持效期短,对灰霉病的防治效果不突出,生产上可用产品有12个,其中,过氧乙酸产品11个,二氯异氰尿酸钠产品1个,均为单剂。

吡啶类杀菌剂是线粒体电子传递链的氧化解偶联剂,杀菌谱广,仅具有保护作用。生产上可用产品仅3个,包括氟啶胺单剂1个,氟啶胺与异菌脲复配产品2个。

表1 登记防治果蔬灰霉病的药剂

杀菌剂类型	有效成分数量/个	有效成分名称
二硫代氨基甲酸酯类	2	代森锰锌、福美双
氯化脲类	1	百菌清
邻苯二甲酰亚胺类	2	克菌丹
苯基吡咯类	1	咯菌腈
吡啶类	1	氟啶胺
苯并咪唑类	3	甲基硫菌灵、多菌灵、噻菌灵
N-苯基氨基甲酸酯类	1	乙霉威
苯胺基嘧啶类	2	啞霉胺、啞菌环胺
二甲酰亚胺类	3	菌核净、异菌脲、腐霉利
琥珀酸脱氢酶抑制类	6	啞酰菌胺、氟吡菌酰胺、氟唑菌酰胺、氟唑菌酰羟胺、吡啶菌胺、异丙噻菌胺
甲氧基丙烯酸酯类	4	啞氧菌酯、吡啶醚菌酯、啞菌酯、肟菌酯
甾醇合成抑制剂	6	咪鲜胺、咪鲜胺锰盐、己唑醇、啞菌噁唑、抑霉唑、戊唑醇
胍类	1	双胍三辛烷基苯磺酸盐
氧化性	2	过氧乙酸、二氯异氰尿酸钠
酚类、萜类等	9	丁香酚、苦参碱、香芹酚、小檗碱、小檗碱盐酸盐、蛇床子素、白藜芦醇、虎杖根茎提取物、苦参提取物
多肽	1	β -羽扇豆球蛋白多肽
微生物杀菌剂	7	木霉菌、甲基营养型芽孢杆菌、哈茨木霉菌、枯草芽孢杆菌、解淀粉芽孢杆菌、海洋芽孢杆菌、荧光假单胞杆菌
其他	5	多抗霉素、井冈霉素、申嗪霉素、氨基寡糖素、中生菌素

苯并咪唑类杀菌剂包含甲基硫菌灵、多菌灵和噻菌灵3个有效成分,生产上可用的产品有25个。除噻菌灵2个单剂(烟剂)产品用于蒜薹贮藏期防治灰霉病外,其他杀菌剂产品均为复配剂。苯并咪唑类杀菌剂在中国使用已有40多年历史,对防控灰霉病曾起到重要作用,但由于其作用靶标单一,灰霉病菌已经对该类杀菌剂产生了较为普遍的抗性^[8-10]。

N-苯基氨基甲酸酯类杀菌剂与苯并咪唑类杀菌剂具有负交互抗性,生产中乙霉威与多菌灵的复配剂在治理灰霉病菌对苯并咪唑类杀菌剂的抗性中,曾起到重要作用。目前,生产上可用的N-苯基氨基甲酸酯类杀菌剂产品有21个,均为复配制剂,多与多菌灵、啞霉胺和啞酰菌胺等复配。国内多个地区报道了灰霉病菌对乙霉威的抗性状况^[11-12]。

苯胺基嘧啶类杀菌剂以啞霉胺和啞菌环胺为代表。目前,可选用的产品有135个,其中,啞霉胺产品有115个,占该类产品的85.2%。苯胺基嘧啶类杀菌剂的抗性比较普遍^[13-14]。

二甲酰亚胺类杀菌剂包含菌核净、异菌脲和腐霉利等3个有效成分。目前,生产上可用的产品有227个,其中,单剂产品有103个。该类杀菌剂与苯胺基嘧啶类杀菌剂一样,曾经是防控灰霉病的主导药剂,现已出现抗性^[15-17]。

琥珀酸脱氢酶抑制类杀菌剂对灰霉病具有良好的保护和治疗作用,是目前各大农化企业研发的热点,新品种层出不穷。目前,该类杀菌剂中有6个有效成分用于灰霉病的防治,分别为啞酰菌胺、氟吡菌酰胺、氟唑菌酰胺、氟唑菌酰羟胺、吡啶菌胺和异丙噻菌胺。氟唑菌酰羟胺和异丙噻菌胺均为2020年后登记。目前,已登记用于防治灰霉病的产品有112个,其中,啞酰菌胺相关产品有104个,占该类杀菌剂登记总数的92.9%。琥珀酸脱氢酶抑制类杀菌剂及其复配剂是目前防控灰霉病的主导药剂,部分地区已检测出抗性菌株^[18-19]。

甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂中有4个有效成分登记用于灰霉病的防治,分别为啞氧菌酯、吡啶醚菌酯、啞菌酯和肟菌酯。已登记产品有57个,其中,基于吡啶醚菌酯的产品有53个,占该类杀菌剂登记总数的93.0%。该类杀菌剂具有良好的保护、治疗和抑制产孢作用,但抗性风险较高^[20]。建议将其与其他不同作用机制的杀菌剂混用,1个生长季使用次数不超2次。

甾醇合成抑制剂类杀菌剂是通过抑制甾醇的生物合成,从而表现出抑菌活性。该类杀菌剂中已登记用于防治灰霉病的有效成分有6个,分别为咪鲜胺、咪鲜胺锰盐、己唑醇、啞菌噁唑、抑霉唑和戊唑醇。

醇,涉及的登记产品有29个。啉菌噁唑由沈阳化工研究院研发,具有自主知识产权,对灰霉菌活性高,防治效果良好。

植物源、微生物杀菌剂及其提取物包括丁子香酚、苦参碱、香芹酚、小檗碱、小檗碱盐酸盐、蛇床子素、白藜芦醇、虎杖根茎提取物、苦参提取物、 β -羽扇豆球蛋白多肽、木霉菌、甲基营养型芽孢杆菌、哈茨木霉菌、枯草芽孢杆菌、解淀粉芽孢杆菌、海洋芽孢杆菌、荧光假单胞杆菌、多抗霉素、井冈霉素、申嗪霉素、氨基寡糖素、中生菌素,共计22个有效成分,涉及76个产品。其中,单剂产品70个,占该类杀菌剂登记总数的92.1%。该类杀菌剂多为保护性杀菌剂,通常在灰霉病发生前或发生初期施用,其应用是化学农药防治果蔬灰霉病的重要补充,对实现化学农药减量增效意义重大。

2.2 灰霉病防治药剂的应用作物

灰霉菌寄主范围广,可以危害多种蔬菜 and 水果。目前,防治蔬菜灰霉病的药剂主要登记在番茄和黄瓜上,共有436个产品;其次为蒜薹、韭菜和苦瓜,共登记63个产品(见表2)。与2020年相比,登记在番茄、黄瓜、蒜薹、韭菜、苦瓜和茄子上的杀菌剂产品数量分别增加了30个、13个、36个、11个、8个和1个。然而,莴苣等叶菜类、四季豆等豆科蔬菜尚无登记药剂。

表2 不同作物防治灰霉病杀菌剂的登记情况

作物类型	作物名称	数量/个	有效成分/个
蔬菜	番茄	274	41
	黄瓜	162	32
	蒜薹	37	4
	韭菜	17	3
	苦瓜	9	1
	茄子	4	6
	小葱	2	3
	辣椒	1	1
	水果	葡萄	110
草莓		41	20
甜瓜		2	3
柑橘树		1	2
猕猴桃树		1	1
杨梅树		1	2
樱桃		1	1
西瓜	1	2	

在水果方面,防治灰霉病的药剂主要登记在葡萄和草莓上,在2种水果上共登记151个杀菌剂产品;蓝莓等一些小品种水果上灰霉病发生严重,但

目前尚无登记药剂。

2.3 灰霉病防治药剂的剂型

目前,登记用于防治果蔬灰霉病的杀菌剂剂型有12种(见表3)。其中,悬浮剂、可湿性粉剂、水分散粒剂、烟剂、水剂的登记产品数量分别为191个、165个、114个、34个和22个,分别占登记产品总数的33.7%、29.2%、20.1%、6.0%和3.9%。而登记的烟片、可溶粒剂和可溶粉剂3个剂型,每个剂型仅有1个登记产品。

表3 防治果蔬灰霉病登记农药剂型统计

序号	剂型	数量/个	占比/%
1	悬浮剂	191	33.7
2	可湿性粉剂	165	29.2
3	水分散粒剂	114	20.1
4	烟剂	34	6.0
5	水剂	22	3.9
6	水乳剂	15	2.7
7	可溶液剂	14	2.5
8	乳油	5	0.9
9	悬乳剂	3	0.5
10	烟片	1	0.2
11	可溶粒剂	1	0.2
12	可溶粉剂	1	0.2

3 果蔬灰霉病防治中存在的问题

杀菌剂的广泛应用,有效控制了果蔬灰霉病的为害,尤其是对设施果蔬灰霉病的防控效果更为突出。杀菌剂的应用对保障果蔬行业的安全生产起到了重要作用。然而,在防治灰霉病的过程中仍旧存在过度依靠化学杀菌剂、杀菌剂的抗性风险大、用药不科学,以及一些作物无药可用等问题^[6]。

3.1 过度依赖化学杀菌剂

化学杀菌剂具有使用简单、性价比高、防治效果好等优点,备受种植者的青睐。一些种植者仅注重化学杀菌剂的应用,而忽视了生态调控、生物防治以及农业措施等,不但使用了大量杀菌剂,而且对灰霉病的防治效果还不理想。

3.2 杀菌剂的抗性风险

灰霉菌具有寄主范围广、产孢量巨大、变异快、四大转座子活跃、再侵染周期短等特点,是具有高抗药性风险的病原菌。灰霉菌已对苯并咪唑类杀菌剂多菌灵、*N*-苯基氨基甲酸酯类杀菌剂乙霉威、二甲酰亚胺类杀菌剂腐霉利和苯胺基嘧啶类杀菌剂啞霉胺等多种杀菌剂产生不同程度抗性;灰霉

病菌对琥珀酸脱氢酶抑制剂类和甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂的抗性也时有报道^[21]。抗药性的产生导致杀菌剂对灰霉病的防治效果变差,从而增加了施药次数和用药剂量,提高了用药成本,增加了农药残留风险。灰霉病菌的抗性治理问题是一个亟待解决的问题。

3.3 杀菌剂使用不合理

由于农药使用者的文化程度普遍较低,他们对果蔬灰霉病的发生规律及杀菌剂的应用知识了解参差不齐,用药水平相差很大。虽然农技人员及相关部门进行了较大力度的培训和指导,用药水平有所提高,但仍旧存在一些问题。(1)用药时机不合理,不能抓住灰霉病防控的关键时期。部分种植者打“保险药”,不管病害是否发生,按时打药,导致过多施药;部分种植者见病才施药,不注意预防,往往发现病害时,灰霉病的发生已较为普遍,导致防效较差。(2)选药不合理。在病害发生后仍使用保护性杀菌剂进行防治,部分使用者忽视杀菌剂的轮换使用,只要效果好,便一直使用该药剂。(3)随意加大用药量,而施用药液量较少。(4)重视化学杀菌剂的使用,不用或少用植物源或微生物等非化学杀菌剂。

3.4 部分作物无药可用

目前,防治灰霉病的杀菌剂仅登记在约20种果蔬上,而灰霉病菌侵染的果蔬作物有200多种,蓝莓、莴苣等小作物面临无“合法”杀菌剂可用的尴尬局面。

4 果蔬灰霉病防控关键技术

灰霉病是一种典型的低温高湿型病害,其防控需要坚持“预防为主,综合防治”的原则。生产上通过合理密植、及时通风排湿、地膜覆盖、膜下滴灌、及时清除病残体等农业和生态调控措施,可在一定程度上减轻灰霉病的危害。

在多数情况下,设施果蔬的灰霉病仍需要施用杀菌剂进行防控。在使用杀菌剂防治灰霉病的过程中,需要注意以下3点。

(1)要抓住灰霉病的发生关键期。在灰霉病发生前或发生初期用药,避免普遍发生后再用药,如早春茬设施番茄通常在2月底至3月初,灰霉病发生前或初期开始用药。

(2)精准选药,科学用药。根据杀菌剂标签进行用药,在灰霉病发生前可选用保护性杀菌剂,而当灰霉病零星发生时,则需要选用具有治疗作用的杀菌剂,同时还需考虑当地灰霉病菌的抗药性情况;

在多次用药的情况下,还需注意与不同作用机制杀菌剂的轮换使用,以延缓病菌抗药性的产生。根据河北省农林科学院研究团队最近研究成果,在河北设施番茄灰霉病发生前,可选用枯草芽孢杆菌、解淀粉芽孢杆菌等非化学药剂或咯菌腈、氟啶胺、双胍三辛烷基苯磺酸盐进行预防;灰霉病零星发生时,可选用啶菌噁唑、氟唑菌酰胺·咯菌腈、氟唑菌酰胺·吡唑醚菌酯、异丙噻菌胺·吡唑醚菌酯(2:1)/双胍三辛烷基苯磺酸盐(1:1)等具有治疗作用的单剂或复配制剂进行防治。

(3)高效科学的施药技术。在进行喷雾防治时,可选用烟雾机或弥雾机提高工效,降低用工成本。在进行预防性用药时,喷雾要均匀,达到作物全覆盖,不留死角;在进行治疗性施药时,除均匀喷雾外,还要在发病中心周围适当增加喷液量。在喷雾防治过程中,施用的药液量可根据植株的大小进行调整,若药液量太少,很难将药剂均匀喷布到全部植株上。

在使用烟剂防治设施内的灰霉病时,首先要根据药剂标签计算好用药量,然后将药剂均匀放置于距植株较远的地方,最好在傍晚收工前,从里向外点燃放烟,若有明火,则将其吹灭。烟剂熏蒸时间不宜过长,一般在6~8 h,时间过长容易造成药害。熏蒸处理后,务必经过充分通风后,人员方可进入棚室进行农事操作。高度低于1.2 m的小棚,不宜使用烟剂,否则容易造成药害。

5 展望

灰霉病是果蔬作物生长期,采后储存、运输和销售过程中易发的重要病害,严重威胁果蔬的产量和品质。灰霉病的防控是一个世界性难题。在农业生产崇尚绿色高质量发展和倡导化学农药减量施用的今天,化学防治仍然是防控灰霉病的重要手段。预计化学杀菌剂在未来很长时间内依然将在防治灰霉病过程中发挥重要作用。

针对果蔬灰霉病发生普遍、抗药性突出等问题,相关企业应逐步淘汰普遍产生抗性的有效成分,政府应加大小宗作物登记的资助力度,鼓励企业加大新产品的研发和登记力度^[22]。为有效控制灰霉病为害,促进水果和蔬菜产业的健康发展,农化企业、科研院所/高校、销售单位及农药使用者之间应加强合作,发挥各自的优势^[23]。农化企业加大新产品的研发力度,科研院所/高校负责灰霉病菌抗药性监测和防控核心技术研发,销售单位及时从农化企业和科

研院所/高校了解杀菌剂产品的特性、当地灰霉病菌的抗药性现状及灰霉病防控的核心技术,指导当地种植者对灰霉病进行防控。逐步提高杀菌剂使用者的科学用药水平,实现果蔬灰霉病的科学防控。

参考文献

- [1] 肖婷, 钱荣明, 张富荣, 等. 江苏省域草莓灰霉病菌种群多药剂抗性检测[J]. 中国农学通报, 2022, 38(14): 110-117.
- [2] 张静, 吴明德, 杨龙, 等. 设施蔬菜灰霉病的发生与防治技术[J]. 长江蔬菜, 2019 (6): 25-28.
- [3] FILLINGER S, ELAD Y. Botrytis-the fungus, the pathogen and its management in agricultural systems[M]. Berlin: Springer press, 2016: 91-125; 149-164; 127-148.
- [4] DEAN R, KAN J, PRETORIUS Z A, et al. The top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology[J]. Molecular Plant Pathology, 2012, 13(7): 414-430.
- [5] 魏林, 梁志怀, 唐炎英. 番茄灰霉病的发生规律及其综合防治[J]. 长江蔬菜, 2020 (7): 54-55.
- [6] 谷莉莉, 陈长军, 陈永明, 等. 中国防治灰霉病杀菌剂的登记品种, 现状与建议[J]. 农学学报, 2021, 11(11):19-26.
- [7] 张正炜, 陈秀, 石小媛, 等. 我国农作物灰霉病杀菌剂的应用现状[J]. 中国蔬菜, 2021 (2): 41-46.
- [8] 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]. 农学学报, 2006, 8(3): 245-249.
- [9] LIU S M, CHE Z P, CHEN G Q. Multiple-fungicide resistance to carbendazim, diethofencarb, procymidone, and pyrimethanil in field isolates of *Botrytis cinerea* from tomato in Henan Province, China [J]. Crop Protection, 2016, 84: 56-61.
- [10] ZHAO J J, BI Q Y, WU J, et al. Occurrence and management of fungicide resistance in *Botrytis cinerea* on tomato from greenhouses in Hebei, China[J]. Journal of Phytopathology, 2019, 167(7/8): 413-421.
- [11] 宋郝棋, 杨晓琦, 李阿根, 等. 樱桃采收后灰霉病菌对甲基硫菌灵、乙霉威和腐霉利的抗性[J]. 农学学报, 2022, 24(6): 1385-1392.
- [12] 石延霞, 唐明, 晋知文, 等. 蔬菜作物灰葡萄孢菌对不同类型杀菌剂的抗性评价[J]. 中国蔬菜, 2016 (3): 60-65.
- [13] 裴艳刚, 朱宇航, 岁立云, 等. 四川猕猴桃灰霉病菌对 4 种杀菌剂的抗性检测[J]. 植物保护, 2021, 47(4):180-185.
- [14] 刘圣娟, 高续恒, 张艳慧, 等. 河南省番茄灰霉病菌对 3 种杀菌剂的抗性检测[J]. 植物保护, 2014, 40(4): 144-147.
- [15] 乔广行, 严红, 么奕清, 等. 北京地区番茄灰霉病菌的多重抗性检测[J]. 植物保护, 2011, 37(5): 176-180.
- [16] 杜颖, 付丹妮, 邹益泽, 等. 2017 年辽宁省番茄灰霉病菌对腐霉利的抗性现状及机制研究[J]. 中国蔬菜, 2018 (1): 58-65.
- [17] 郝永娟, 霍建飞, 高苇, 等. 天津地区番茄灰霉病菌对常用杀菌剂的抗性检测及治理对策[J]. 天津农业科学, 2015, 21(10): 87-92.
- [18] LIU S, FU L, TAN H, et al. Resistance to boscalid in *Botrytis cinerea* from greenhouse-grown tomato[J]. Plant Disease, 2021, 105(3): 628-635.
- [19] BI Q, LU F, YANG K, et al. Baseline sensitivity and resistance of *Botrytis cinerea* to penthiopyrad in Hebei Province, China [J]. Horticulturae, 2022, 8(8): 686.
- [20] 刘西莉, 苗建强, 张灿. 植物病原菌抗药性及其抗性治理策略[J]. 农学学报, 2022, 24(5): 921-936.
- [21] 陈乐, 苗则彦, 孙柏欣, 等. 灰霉病菌抗药性研究进展[J]. 中国植保导刊, 2020, 40(4): 21-30.
- [22] 宋佳露, 程星凯, 刘鹏飞, 等. 植物病原菌对杀菌剂多药抗性的发生现状[J]. 植物保护, 2021, 47(6): 28-33.
- [23] 路粉, 王文桥. 我国蔬菜杀菌剂及其应用状况[J]. 中国蔬菜, 2017 (10): 6-13.

(编辑:顾林玲)

(上接第 12 页)

- [J]. 北方园艺, 2018(14): 6-12.
- [55] 路粉, 吴杰, 赵建江, 等. 致病疫霉对烯酰吗啉和双炔酰菌胺的敏感性动态监测及马铃薯晚疫病田间防治药剂筛选[J]. 农学学报, 2023, 25(6): 1279-1287.
- [56] 杨应美, 卢灿华, 盖晓彤, 等. 烟草黑胫病不同菌株对不同药剂的抗性评价[J]. 江西农业学报, 2021, 33(6): 55-58.
- [57] 李映, 崔紫宁, 胡君, 等. 几丁质合成酶抑制剂[J]. 化学进展, 2007 (4): 535-543.
- [58] MAMIEV M, NADIA K, YIGAL E. Resistance to polyoxin AL and other fungicides in *Botrytis cinerea* collected from sweet basil crops in Israel[J]. European Journal of Plant Pathology, 2013, 137: 79-91.
- [59] 刘保友, 王英姿, 张伟, 等. 苹果斑点落叶病菌对多抗毒素的抗性及其地理分布[J]. 中国果树, 2013(4): 49-51.
- [60] MIAO J Q, DONG X, LIN D. et al. Activity of the novel fungicide oxathiapiprolin against plant-pathogenic oomycetes[J]. Pest Management Science, 2016, 72 (8): 1572-1577.
- [61] RAYCHAUDHURI S, PRINZ W A. The diverse functions of oxysterol-binding proteins[J]. Annual Review of Cell and Developmental Biology, 2010, 26:157-177.
- [62] 王之欣. 芋疫霉菌对氟噻唑吡乙酮的抗药性机制研究[D]. 海口: 海南大学, 2023.
- [63] DAI T, YANG J K, ZHAO C. et al. Unveiling vacuolar H⁺-ATPase subunit a as the primary target of the pyridinylmethyl-benzamide fungicide, fluopicolide[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2024, 72(3), 1527-1538.
- [64] NELSON N. A journey from mammals to yeast with vacuolar H⁺-ATPase (V-ATPase)[J]. Journal of Bioenergetics and Biomembranes, 2003, 35: 281-289.
- [65] WANG L, JI P. Fitness and competitive ability of field isolates of *Phytophthora capsici* resistant or sensitive to fluopicolide[J]. Plant Disease, 2021, 105(4): 873-878.
- [66] 吴杰, 赵建江, 路粉, 等. 马铃薯晚疫病菌对氟吡菌胺抗性监测及 9 种常规药剂对马铃薯晚疫病田间防效评估[J]. 植物病理学报, 2021, 51(1): 85-94.
- [67] 王文桥, 韩秀英, 吴杰, 等. 河北省和山东省黄瓜霜霉病菌对氟吡菌胺的抗性及其常规药剂对黄瓜霜霉病的田间防效[J]. 植物保护学报, 2019, 46(2): 385-392.

(编辑:顾林玲)