

◆ 综述与专论 ◆

我国防治炭疽病杀菌剂的应用现状

孙 伟, 陈淑宁, 闫晓静, 袁会珠*

(中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

摘要:炭疽菌属真菌是最常见的植物病原菌之一, 也被评为世界十大最重要的植物病原真菌之一。作为一类全球性分布的植物病原菌, 炭疽菌属真菌可以侵染几乎所有作物, 在采前及采后均能对蔬菜水果产生危害, 造成严重经济损失。对于炭疽病的防治可以采用化学防治、生物防治和农业防治等多种措施, 而使用化学杀菌剂仍是防治该病原菌最有效的手段之一。本文主要介绍了我国目前农作物炭疽病杀菌剂的登记情况和抗药性产生现状, 并对未来杀菌剂的使用提出建议, 以期炭疽病的科学防控提供参考。

关键词:炭疽病; 杀菌剂; 应用现状; 登记; 抗药性

中图分类号: TQ 455 文献标志码: A doi: 10.3969/j.issn.1671-5284.2022.02.001

Application Status of Fungicides to Control Anthracnose Disease in China

SUN Wei, CHEN Shuning, YAN Xiaojing, YUAN Huizhu*

(Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: *Colletotrichum* sp. is one of the most common plant pathogens, and is rated as one of the ten most important plant pathogenic fungi in the world. As a globally distributed plant pathogens, *Colletotrichum* sp. can infect almost all crops and cause serious damage to vegetables and fruits before and after harvest, leading to serious economic losses. The control of anthracnose disease relies on chemical control, biological control and agricultural control. Using chemical fungicide is still one of the effective methods to control the disease. In this paper, the registration and resistance status of fungicides for the control of anthracnose disease in China were introduced. Moreover, the review provided the basis for scientific controlling anthracnose disease.

Key words: anthracnose disease; fungicide; application status; registration; resistance

炭疽菌属真菌于1790年首次发现, 随后, 在1983年, 一类分生孢子盘上具有刚毛特点的真菌被科学家Corda分离并建立为炭疽菌属。炭疽菌属真菌的寄主分布十分广泛, 对作物的危害不仅发生在田间, 还会一直延续到作物贮藏过程。随着植物病原学及分子生物学的不断发展, 炭疽菌属家族不断扩大, 成为最常见的病原菌之一, 也被评为世界上“十大最重要病害”之一^[1-2]。在与植物炭疽病长期斗争的过程中, 杀菌剂起到了功不可没的作用, 其中咪鲜胺、苯醚甲环唑是农业生产中最为常用的防治药剂。本文将重点介绍我国目前农作物炭疽病杀菌剂的

登记情况和抗药性产生现状, 并对未来杀菌剂的使用提出建议, 以期炭疽病的科学防控提供参考。

1 我国目前用于防治炭疽病杀菌剂的登记概况

目前, 我国主要通过化学方法防治炭疽病害。截止2021年12月31日, 我国登记注册并且仍在有效使用期限内防治炭疽病的杀菌剂产品共有843种, 包括单剂472种, 混剂371种。施药方式主要为喷雾和浸果。单剂登记有效成分43种, 其中咪鲜胺登记产品数量最多, 达109个, 其次为苯醚甲环唑(71个)、

收稿日期: 2022-01-12

基金项目: 国家自然科学基金 (32001945)

作者简介: 孙伟(1996—), 男, 安徽合肥人, 硕士研究生, 研究方向为杀菌剂抗药性研究。E-mail: 82101205222@caas.cn

通信作者: 袁会珠(1967—), 男, 河北藁城人, 博士, 研究员, 主要从事农药使用技术研究。E-mail: hzyuan@ippcaas.cn

代森锰锌(54个)、啞菌酯(44个)、吡唑醚菌酯(31个)(图1)。

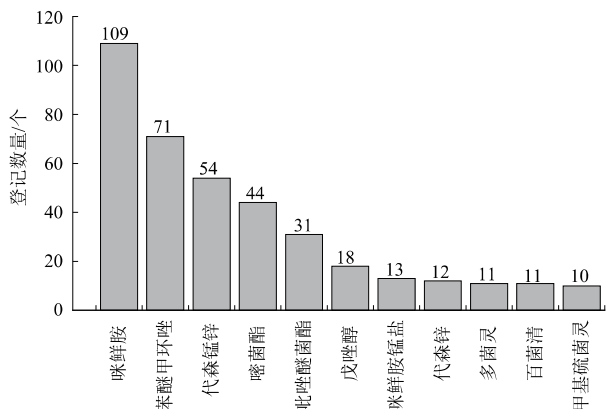


图 1 防治炭疽病的主要单剂产品登记情况

登记作物有36种,主要以蔬菜水果等经济作物为主,其中登记在西瓜上的产品最多,达242个,其次为苹果(236个)、黄瓜(208个)、柑橘(190个)、葡萄(117个)(图2)。其中,防治苹果炭疽病的主要单剂产品包括代森锰锌(31.9%)、戊唑醇(11.3%);防治西瓜炭疽病的主要单剂产品为苯醚甲环唑(36.6%)、代森锰锌(25.4%);防治柑橘炭疽病的主

要单剂产品包括咪鲜胺(27.5%)、代森锰锌(26.8%);防治葡萄炭疽病的主要单剂产品包括代森锰锌(34.4%)、啞菌酯(13.3%)。

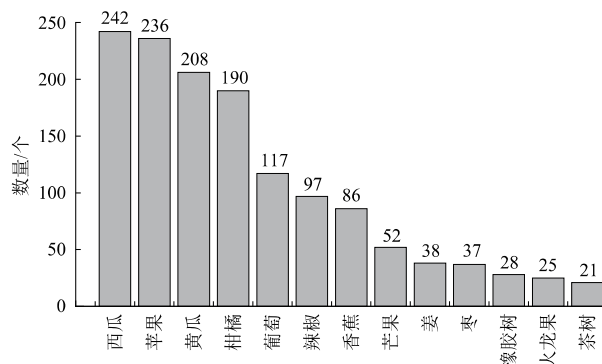


图 2 炭疽病防治杀菌剂在不同作物上登记数量情况

2 我国炭疽病防治药剂分类及其抗药性问题

我国目前登记用于炭疽病防治的药剂中,单剂有效成分共43种,根据杀菌剂化学结构可大致分为11类(表1),主要为:咪唑类(27.1%)、三唑类(21.2%)、甲氧基丙烯酸酯类(17.8%)、二硫代氨基甲酸盐类(17.4%)等。

表 1 主要防治炭疽病的单剂产品分类

类型	产品数量/个	登记产品及数量/个	主要剂型及数量/个	作用机理
三唑类	100	苯醚甲环唑/71; 戊唑醇/18; 氟环唑/4; 氟硅唑/3; 腈菌唑/2; 烯唑醇/1; 氯氟醚菌唑/1	悬浮剂/43; 水分散粒剂/37; 微乳剂/11	抑制甾醇生物合成
咪唑类	128	咪鲜胺/109; 咪鲜胺锰盐/13; 抑霉唑/6	水乳剂/76; 乳油/30; 可湿性粉剂/13	抑制麦角甾醇生物合成
甲氧基丙烯酸酯类	84	啞菌酯/44; 吡唑醚菌酯/31; 啞氧菌酯/7; 腈菌酯/2	悬浮剂/64; 乳油/10; 水分散粒剂/7	抑制线粒体的呼吸作用
苯并咪唑类	21	多菌灵/11; 甲基硫菌灵/10	可湿性粉剂/13; 水分散粒剂/4; 悬浮剂/4	干扰细胞有丝分裂
取代苯类	11	百菌清/11	可湿性粉剂/10; 悬浮剂/1	多作用位点活性
二硫代氨基甲酸盐类	82	代森锰锌/54; 代森锌/12; 丙森锌/6; 代森联/3; 福美锌/6; 福美双/1	可湿性粉剂/79; 水分散粒剂/3	多作用位点活性
含铜类	8	络氨铜/3; 氢氧化铜/1; 王铜/1; 琥胶肥酸铜/1; 松脂酸铜/1; 咪鲜胺铜盐/1	水剂/3; 水分散粒剂/2	多作用位点活性
生物农药	17	啞啞核苷类抗菌素/8; 枯草芽孢杆菌/2; 多粘类芽孢杆菌/2; 几丁聚糖/1; 柠檬烯/1; 春雷霉素/1; 多抗霉素/1; 苦参碱/1	水剂/10; 可湿性粉剂/5	多作用位点活性
吡啶类	5	氟啶胺/5	悬浮剂/5	抑制ATP的产生
邻苯二甲酰胺类	4	克菌丹/4	可湿性粉剂/3; 悬浮剂/1	多作用位点活性
其他	12	溴菌腈/2; 三氯异氰尿酸/3; 五氯硝基苯/1; 二氧蒽醌/6	可湿性粉剂/4; 水分散粒剂/3; 悬浮剂/3	多作用位点活性

2.1 三唑类和咪唑类

三唑类杀菌剂和咪唑类杀菌剂在所有单剂中占比接近一半,在防治炭疽病的药剂中占有及其重要的地位,二者都属于脱甲基化酶抑制剂类(DMD

杀菌剂。三唑类杀菌剂自1976年上市,经过多年来不断开发,在2014年销售额高达34.7亿美元,成为全球杀菌剂市场一个主要的大类^[9]。目前,登记用于炭疽病防治的三唑类单剂产品共计7种有效成分,其中苯

醚甲环唑登记产品数量最多(71个),其次为戊唑醇(18个)。此外,氟环唑、腈菌唑、烯唑醇、氯氟醚菌唑也有少量登记。主要登记剂型有悬浮剂43个,水分散粒剂37个,微乳剂11个(表1)。咪唑类杀菌剂是含有氮杂环的一类化合物,具有高效、广谱、低毒、选择性好和内吸性高等优点。目前,防治炭疽病的咪唑类单剂产品有3种,其中咪鲜胺登记产品数量最多(109个),其次为咪鲜胺锰盐(13个)、抑霉唑(6个)。主要登记剂型有水乳剂76个,乳油30个,可湿性粉剂13个(表1)。

然而,目前的研究表明该类杀菌剂对炭疽病防治效果差异较大。Chen等^[4-5]研究表明采自桃树上不同种类的炭疽菌株对同类型的杀菌剂存在明显差异。*C. gloeosporioides*复合种对所有被测DMI药剂均敏感;在2个亲缘关系极为相近的同属*C. acutatum*复合种中,*C. fioriniae*也对所有被测DMI药剂敏感,*C. nymphaeae*却对粉唑醇和腈苯唑表现为抗性,EC₅₀值为敏感菌株的50倍以上;此外,*C. truncatum*对大多数DMI类药剂表现为抗性或者不敏感。采自我国东部草莓产地的炭疽菌株对杀菌剂敏感性的测试结果表明,*C. siamense*和*C. fructicola*对DMI药剂的敏感性明显不同。对咪鲜胺而言,*C. fructicola*相对于*C. siamense*较不敏感,而对于药剂戊唑醇和苯醚甲环唑,*C. siamense*则比*C. fructicola*更不敏感^[6]。采自我国海南橡胶树上的*C. gloeosporioides*对苯醚甲环唑、丙环唑和腈菌唑的敏感性明显低于*C. acutatum*^[7]。以上差异性结果都表明,炭疽病菌对不同DMI类药剂敏感性存在种间差异,因此,明确造成炭疽病害的优势种,对及时调整施药方案,提高药剂防治效果,减少药剂使用量意义重大。

炭疽病菌除了对DMI类药剂存在天然抗性以外,频繁地使用药剂,也会导致病菌敏感性下降。采自云南葡萄上的*C. gloeosporioides*菌株对烯唑醇和腈菌唑的敏感性下降^[8]。采自浙江省葡萄上的*C. gloeosporioides*菌株对戊唑醇已产生了中等抗性^[9]。

2.2 甲氧基丙烯酸酯类

目前,登记用于防治炭疽病的甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂单剂产品共有84个,有效成分为4种,占有炭疽病防治单剂产品总量的17.8%,主要以啞菌酯和吡唑醚菌酯为主,数量分别为44、31个;另外,啞菌酯和肟菌酯也有少量登记。登记剂型主要以悬浮剂、乳油、水分散粒剂为主,数量分别为64、10、7个(表1)。

甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂主要通过阻碍电子传递,抑制线粒体的呼吸作用从而起到抑菌效果^[10]。

因为其良好的防效被广泛用于炭疽病防治^[11-12],针对不同作物的炭疽病,该类药剂均有登记。然而,因为其作用位点单一,抗药性问题也频繁出现^[13-14]。Zhang等^[6]研究表明,我国东部地区草莓炭疽优势种*C. siamense*和*C. fructicola*对啞菌酯已经产生抗药性,而在浙江地区草莓上,*C. gloeosporioides*对吡唑醚菌酯的高抗频率高达71%^[12]。对甲氧基丙烯酸酯类药剂产生抗药性的情况也在我国部分地区桃炭疽病菌上发生,从贵州、广东、河北、山东4个省份分离出的*C. fructicola*有74%对吡唑醚菌酯有高抗药性,26%表现为低抗,所有的*C. siamense*都对吡唑醚菌酯表现为低抗;此外,从我国山东和河北地区的桃树上分离的*C. fructicola*菌株对吡唑醚菌酯也已产生高抗^[15]。以上报道提醒我们在施用此类药剂时应注意抗药性的问题。

2.3 苯并咪唑类

苯并咪唑类药剂自20世纪70年代初开始,大量用于果蔬炭疽病的防治。对大多数果树的采后病害而言,该类杀菌剂都是最为有效的防治药剂之一。目前,登记用于防治炭疽病的该类单剂产品为多菌灵和甲基硫菌灵2种,占有单剂产品总量的4.4%,二者数量分别为11和10个。主要剂型有可湿性粉剂、水分散粒剂、悬浮剂,数量分别为13、4、4个(表1)。

苯并咪唑类药剂通过和病原菌的 β -tubulin亚基结合,阻碍微管蛋白的合成,从而抑制细胞骨架的生物合成。值得一提的是,MBC类杀菌剂不作为*C. acutatum*的推荐用药。*C. acutatum*对MBC类杀菌剂具有天然中等抗性,且和其他病原菌对MBC类杀菌剂产生抗性的机理不同,*C. acutatum*的抗性是由MBC类杀菌剂靶标基因*CaTUB1*的过量表达所致^[16]。

20世纪90年代以来,以多菌灵和甲基硫菌灵为代表的苯并咪唑类杀菌剂是我国农户防治炭疽病的首选药剂^[17-18]。随着使用时间增加,有关该类药剂药效下降,甚至防治失败的案例时有报道。早在2009年,在我国浙江杭州草莓产区已经开始发现因为*C. gloeosporioides*对多菌灵产生抗药性而防治失败的案例^[19]。Han等^[17]从湖北地区草莓和山药上采集的炭疽菌株中发现,*C. siamense*和*C. fructicola*菌株对多菌灵已经产生抗药性。Lin等^[18]对浙江地区草莓和葡萄上采集的*C. gloeosporioides*复合种的敏感性测试显示,有90%的菌株对多菌灵产生了抗药性。另外,在我国江苏地区也同样报道了葡萄炭疽病菌对多菌灵的抗药性^[20]。

2.4 吡啶类

吡啶类杀菌剂氟啶胺是由日本石原产业公司开发的广谱性杀菌剂,对灰霉病、菌核病等病害都有很好的防效^[21-25]。近年来,不少研究人员开始注意到其对炭疽病的抑菌活性。我国于2018年取得了首个登记用于防治炭疽病的氟啶胺药剂,截至目前,仅有5个单剂产品和1个混剂产品被登记用于防治柑橘炭疽病和辣椒炭疽病,登记剂型均为悬浮剂(表1)。氟啶胺属于线粒体氧化磷酸化解偶联剂,通过作用于ATP合成酶,在呼吸链的尾端解除氧化与磷酸化的关联,从而抑制线粒体的呼吸作用^[26-27]。该药剂为多作用位点杀菌剂,抗性风险极低,且由于其独特的作用机理,与现有药剂无交互抗性^[22-23,28]。虽然氟啶胺单剂或与嘧菌酯的复配药剂,在我国仅登记于辣椒和柑橘上,但在美国,该药已经被登记应用于苹果、蓝莓、树莓炭疽病的防治。另外,部分专家还建议将其登记于草莓炭疽病的防治^[28]。室内试验表明,氟啶胺对*C. gloeosporioides*和*C. acutatum*均具有良好的离体活性^[29]。在苹果炭疽防治上,氟啶胺和吡唑醚菌酯和氟唑菌酰胺混剂的防效持平^[30-31]。在蓝莓和草莓炭疽防治上,该药防效和克菌丹持平,属于中等水平^[32-33]。

2.5 二硫代氨基甲酸盐类

二硫代氨基甲酸盐类杀菌剂主要是一类以代森系列和福美系列为代表的广谱性杀菌剂。目前,登记用于炭疽病防治的单剂产品有82个,代森系列占比最大。其中,代森锰锌是登记最多的产品,有54个。其余分别是代森锌、丙森锌、福美锌、代森联、福美双,数量分别为12、6、6、3、1个。登记剂型主要有可湿性粉剂和水分散粒剂2种(表1)。

2.6 其他类型杀菌剂

除了上述6种类型杀菌剂外,还有不少其他类型药剂登记用于炭疽病防治。例如生物农药,有17个单剂获得登记,以植物提取物、微生物次级代谢物和拮抗微生物为主。由于生物农药防治效果不稳定,目前并非防治炭疽病的主要药剂^[34]。取代苯类杀菌剂百菌清共登记单剂产品11个;百菌清是多作用位点的保护型杀菌剂,该药剂的代谢产物会产生一定的健康风险,目前已经被多个国家限制使用^[35]。此外,含铜杀菌剂单剂登记了8个产品。铜制剂虽然有对植物毒性低、产生抗性风险小等优点,但是在使用过程中铜制剂会刺激螨类害虫大爆发^[36],并且长期使用铜制剂可引起土壤铜离子积累,从而产生潜在的植物毒性和重金属污染^[37]。除了以上药剂

外,溴菌腈、三氯异氰尿酸、五氯硝基苯、二氰蒽醌也都有少量登记。

3 农作物炭疽病杀菌剂应用的发展方向

虽然目前有多种药剂登记用于炭疽病的防治,但由于药剂对不同炭疽种的抑菌活性差异以及抗药性产生等问题,导致在应用过程中可以防治每种作物炭疽病的杀菌剂种类仍然相对较少。例如,在防治芒果炭疽的单剂产品中,仅咪鲜胺一种就占比60%,这无疑增加了咪鲜胺抗药性风险的产生。为了防止以上情况发生,应扩大新类型杀菌剂登记。以下将介绍几种国外已用于炭疽病防治,而国内尚未登记的农药产品。

3.1 苯并烯氟菌唑

苯并烯氟菌唑(Benzovindiflupyr)是由先正达公司开发的琥珀酸脱氢酶抑制剂类杀菌剂,该药剂具有广谱性杀菌活性,除了用于防治锈病和白粉病外^[38],对炭疽病也有极好的防效。在美国中西部,苯并烯氟菌唑已经被登记用于苹果炭疽病的防治^[32]。虽然并没有在草莓上登记,但Mertely等^[33,39]研究表明该药剂对草莓炭疽病也有很好的防效,预计在不久的将来也会在中国被登记于防治炭疽病。

3.2 咯菌腈

咯菌腈(Fludioxonil)是由先正达公司研发的吡咯类杀菌剂^[40]。咯菌腈持效期长,用量少,且可与多种杀菌剂混配使用。在我国,种子包衣剂是目前咯菌腈的主要应用方向,在中国农药信息网中共登记220个产品。尽管尚未在我国登记用于炭疽病的防治,但该药剂在炭疽病防治上应用前景广阔。美国种植者在草莓秧苗定植前,常用咯菌腈浸蘸处理^[41-42]。Haack等^[42]研究表明使用咯菌腈和氟唑菌酰胺混剂对定植前的草莓苗进行处理后,炭疽病发病极大减轻,且该混剂的防效优于嘧菌酯。目前,咯菌腈和氟唑菌酰胺混剂在美国不仅登记用于葡萄炭疽病的防治,在2019年还在蓝莓和草莓炭疽上获得了特许登记^[42]。国内应用咯菌腈防治炭疽病的报道还较少,基于其对炭疽病良好的防效,咯菌腈在国内炭疽病防控中存在潜力。

3.3 纳他霉素

纳他霉素(Natamycin)是一种由纳他链霉菌受控发酵而成的药剂,一般用于食品防腐剂。近年来,有研究者发现其对炭疽病有良好的抑制作用。纳他霉素通过与麦角甾醇结合,从而改变细胞膜的通透性以达到抑菌效果^[43-44]。在美国,该药剂已被登记用

于柑橘、仁果及核果类果树的采后保鲜处理。在美国加利福尼亚州及佛罗里达州,该药剂作为草莓秧苗的浸蘸处理药剂,在田间也对草莓炭疽病表现出良好防效,且能有效防治*C. acutatum*的QoI抗性菌株。目前,已登记于美国的2个州,并有望在其他州获得登记^[45-46]。纳他霉素对哺乳动物毒性极低,一直以来作为食品和饮料的防腐剂,以及作为人类眼科真菌病的药物使用^[47]。在水果采后处理应用中,纳他霉素相较于咪唑胺、吡唑醚菌酯等杀菌剂更安全,且不易产生抗性。遗憾的是,虽然纳他霉素对炭疽病抑菌效果极好,但是它在紫外线下极易被分解,导致常规剂型无法在田间通过叶面喷雾施用^[43-44]。

4 小 结

化学防治在未来很长一段时间内依旧是防治炭疽病的主要手段,但炭疽菌属真菌分类复杂,寄主众多,且种间对同一类型杀菌剂敏感性存在差异,这些特点使得炭疽病在田间防控比其他病害更加复杂,加之部分地区农药使用不当导致抗性产生,加大了炭疽病的防控难度。为了更加有效地防控炭疽病,有必要各方通力合作。相关科研部门要做好病原菌鉴定工作,实时监控田间病菌的抗性情况,建立完善的病害预测体系。各地植保站应该积极建立适用于当地的炭疽病防治方案,积极推动炭疽病化学防控和生物防控相结合。农药监管部门和农药经营者应该积极参与到农药生产使用中,引导农民合理正确地使用农药,做好我国炭疽病的防控工作。

参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] CANNON P F, DAMM U, JOHNSTON P R, et al. *Colletotrichum*-current status and future directions[J]. *Studies in Mycology*, 2012, 73: 181-213.
- [3] 王佳韵, 张一宾. 全球三唑类杀菌剂的市场概况及发展趋势[J]. *农药*, 2017, 56(2): 86-87.
- [4] CHEN S N, LUO C X, HU M J, et al. Sensitivity of *Colletotrichum* species, including *C. fioriniae* and *C. nymphaeae*, from peach to demethylation inhibitor fungicides[J]. *Plant Disease*, 2016, 100: 2434-2441.
- [5] CHEN S, WANG Y, GUIDO S, et al. Inherent resistance to 14 α -demethylation inhibitor fungicides in *Colletotrichum truncatum* is likely linked to *CYP51A* and/or *CYP51B* gene variants[J]. *Phytopathology*, 2018, 108:1263-1275.
- [6] ZHANG L, SONG L, GAO Q H, et al. Characterization and fungicide sensitivity of *Colletotrichum* species causing strawberry anthracnose in eastern China[J]. *Plant Disease*, 2020, 104(7): 1960-1968.
- [7] CAO R X, XU X M, CHE H Y, et al. Distribution and fungicide sensitivity of *Colletotrichum* species complexes from rubber tree in Hainan, China[J]. *Plant Disease*, 2017, 101: 1774-1780.
- [8] 邓维萍, 杨敏, 杜飞, 等. 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[J]. *农药学报*, 2011, 13(3): 245-252.
- [9] 陈聃, 时浩杰, 吴慧明, 等. 浙江省葡萄炭疽菌对甲基硫菌灵和戊唑醇的抗性研究[J]. *果树学报*, 2013, 30(4): 665-668.
- [10] BARTLETT D W, CLOUGH J M, GODWIN J R, et al. The strobilurin fungicides[J]. *Pest Management Science*, 2002, 58(7): 649-662.
- [11] 韦继彦, 韦呈武, 黄泽熙, 等. 8种杀菌剂对指天椒炭疽病的田间防效[J]. *中国植保导刊*, 2020, 40(2): 68-70.
- [12] WU J Y, HU X R, ZHANG C Q. Molecular detection of QoI-resistance in *Colletotrichum gloeosporioides* causing strawberry anthracnose based on loop-mediated isothermal amplification assay [J]. *Plant Disease*, 2019, 103(6): 1319-1325.
- [13] HU M J, GRABKE A, DOWNLING M E, et al. Resistance in *Colletotrichum siamense* from peach and blueberry to thiophanate-methyl and azoxystrobin[J]. *Plant Disease*, 2015, 99(6): 806-814.
- [14] FERNANDEZ-ORTUNO D, TORES J A, VICENTE A D, et al. Mechanisms of resistance to QoI fungicides in phytopathogenic fungi[J]. *International Microbiology*, 2008, 11(1): 1-9.
- [15] USMAN H M, TAN Q, KARIM M M, et al. Sensitivity of *Colletotrichum fructicola* and *Colletotrichum siamense* of peach in China to multiple classes of fungicides and characterization of pyraclostrobin-resistant isolates[J]. *Plant Disease*, 2021, 105(11): 3459-3465.
- [16] NAKAUNE R, NAKANO M. Benomyl resistance of *Colletotrichum acutatum* is caused by enhanced expression of β -tubulin 1 gene regulated by putative leucine zipper protein CaBEN1[J]. *Fungal Genetics and Biology*, 2007, 44(12): 1324-1335.
- [17] HAN Y C, ZENG X G, XIANG F Y, et al. Carbendazim sensitivity in populations of *Colletotrichum gloeosporioides* complex infecting strawberry and yams in Hubei province of China[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2018, 17(6): 1391-1400.
- [18] LIN T, XU X F, DAI D J, et al. Differentiation in development of benzimidazole resistance in *Colletotrichum gloeosporioides* complex populations from strawberry and grape hosts[J]. *Australasian Plant Pathology*, 2016, 45(3): 241-249.
- [19] 韩国兴, 礼茜, 孙飞洲, 等. 杭州地区草莓炭疽病病原鉴定及其对多菌灵和乙霉威的抗性[J]. *浙江农业科学*, 2009(6): 4.
- [20] 杨敬辉, 许媛, 肖婷, 等. 葡萄炭疽菌种群对多菌灵的抗性监测

- [J]. 果树学报, 2021, 38(2): 242-249.
- [21] LIU S M, FU L Y, CHEN J P, et al. Baseline sensitivity of *Botrytis cinerea* to fluazinam and cross-resistance[J]. Plant Disease, 2019, 167(6): 344-350.
- [22] LIU S M, JIANG J, CHE Z P, et al. Baseline sensitivity and control efficacy of fluazinam against *Sclerotinia sclerotiorum* in Henan province, China[J]. Journal of Phytopathology, 2018, 167(2): 75-81.
- [23] MAO X W, LI J S, CHEN Y L, et al. Resistance risk assessment for fluazinam in *Sclerotinia sclerotiorum*[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2018, 144: 27-35.
- [24] ANEMA B P, BOUWMAN J J, KOMYOJI T, et al. Fluazinam: a novel fungicide for use against *Phytophthora infestans* in potatoes [J]. Brighton Crop Protection Conference, Pests and Diseases, 1992, 2: 663-668.
- [25] CHEN Y L, MAO X W, WANG J X, et al. Activity of the dinitroaniline fungicide fluazinam against *Bipolaris maydis* [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2018, 148: 8-15.
- [26] BRANDT U, SCHUBERT J, GECK P, et al. Uncoupling activity and physicochemical properties of derivatives of fluazinam [J]. Biochim Biophys Acta, 1992, 1101(1): 41-47.
- [27] WANG X H, ZHENG S S, HUANG T, et al. Fluazinam impairs oxidative phosphorylation and induces hyper/hypo-activity in a dose specific manner in zebrafish larvae[J]. Chemosphere, 2018, 210(9): 633-644.
- [28] FORCELINI B B, PERES N A. Widespread resistance to QoI fungicides of *Colletotrichum acutatum* from strawberry nurseries and production fields[J]. Plant Health Progress, 2018, 19(4): 338-341.
- [29] GANG G H, CHO H J, KIM H S, et al. Analysis of fungicide sensitivity and genetic diversity among *Colletotrichum* species in sweet persimmon[J]. The Plant Pathology Journal, 2015, 31(2): 115-122.
- [30] RITCHIE D F, PARKER M L, HOGE B, et al. Evaluation of selected fungicides and their time of application for management of *Glomerella* leaf spot on Gala apples, 2015[J]. Plant Disease Management Reports, 2016, 10(17):1-2.
- [31] BRANNEN P, GOVINGTON R, ROGERS D, et al. Evaluation of fungicide programs for control of bitter rot of apples in Georgia[R]. Georgia: University of Georgia, 2017.
- [32] BECKERMAN J, BESSIN R, STRANG J, et al. 2019—2020 midwest fruit pest management guide[R]. Indiana: Purdue University, 2020.
- [33] MERTELY J, SEIJO T, PERER N A, et al. Evaluation of products for anthracnose fruit rot and *Gnomonia* leaf blotch control in strawberry, 2016—2017[J]. Plant Disease Management Reports, 2018, 12: 46.
- [34] DOWLING M E, PERES N A, VILLANI S, et al. Managing *Colletotrichum* on fruit crops: a "complex" challenge[J]. Plant Disease, 2020, 104(9): 2301-2316.
- [35] 申继忠, 叶子雨. 百菌清的禁限用与替代产品的选择[J]. 世界农药, 2021, 43(7): 9-17; 37.
- [36] 黄振东, 严得胜, 陈道茂. 噻菌铜对桔全爪螨繁殖影响的研究[J]. 中国南方果树, 2002, 31(5): 14-15.
- [37] KOMAREK M, CADKOVA E, CHRASTNY V, et al. Contamination of vineyard soils with fungicides: a review of environmental and toxicological aspects[J]. Environment International, 2010, 36(1): 138-151.
- [38] 张翼翮. 广谱、持效期长的杀菌剂——苯并烯氟菌唑[J]. 世界农药, 2015, 37(5): 58-59.
- [39] MERTELY J C, SEIJO T, PERES N. Evaluation of products and programs for anthracnose fruit rot in annual strawberry, 2018—2019[J]. Plant Disease Management Reports, 2019, 8: 13.
- [40] 裴和瑛, 曹巍. 咯菌腈合成方法述评[J]. 农药, 2020, 59(12): 915-917.
- [41] MERTELY J C, SEIJO T E, PERES N A. Effect of pre- and post-plant fungicide and fertilizer treatments on infection by *Colletotrichum acutatum*, plant survival, and yield of annual strawberry in Florida[J]. Plant Health Progress, 2010, 11(1): 30-37.
- [42] HAACK S, IVORS K L, HOLMES G J, et al. Natamycin, a new biofungicide for managing crown rot of strawberry caused by QoI-resistant *Colletotrichum acutatum*[J]. Plant Disease, 2018, 102(9): 1687 - 1695.
- [43] WELSCHER Y T, JONES L, LEEUWEN M V, et al. Natamycin inhibits vacuole fusion at the priming phase via a specific interaction with ergosterol[J]. Antimicrobial Agents Chemotherapy, 2010, 54(6): 2618-2625.
- [44] WELSCHER Y, NAPEL H, BALAGUE M M, et al. Natamycin blocks fungal growth by binding specifically to ergosterol without permeabilizing the membrane[J]. Journal of Biological Chemistry, 2008, 283(10): 6393-6401.
- [45] CORDAVA L G, MADDEN L V, AMIRI A, et al. Evaluation of dip treatments for control of *Colletotrichum acutatum* on strawberry transplants, 2017—2018[J]. Plant Disease Management Reports, 2015, 10: 56.
- [46] COSSEBOOM S D, IVORS K, SCHNABEL G, et al. First report of *Botrytis mali* causing gray mold on strawberry in California [J]. Plant Disease, 2017, 102(3): 679.
- [47] APARICIO J F, BARREALES E G, PAYERO T D, et al. Biotechnological production and application of the antibiotic pimarinic: biosynthesis and its regulation[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2016, 100(1): 61-78.

(责任编辑: 金兰)