

特 约 稿 件

Invited Paper

草莓灰霉病研究进展

张国珍, 钟 珊

(中国农业大学植物保护学院植物病理学系, 北京 100193)

摘要 草莓灰霉病是草莓上最重要的病害之一,在温室和露地栽培中均普遍发生,草莓生长期和采后果实均可被侵染,造成严重的经济损失。本文结合作者近年来对草莓灰霉病的有关研究,就草莓灰霉病的症状和危害,病原菌的种类,分生孢子萌发的最适温湿度,病原菌的抗药性,影响草莓灰霉病发生的因素包括品种抗感性、不同器官的带菌量和空气中的孢子量及环境条件,草莓灰霉病综合防治等方面的国内外研究进展进行综述,以期从事相关研究的科研人员和生产技术人员提供参考与帮助。

关键词 草莓; 灰霉病; 病原菌; 生物学特性; 发病因素; 综合防治

中图分类号: S 436. 639 **文献标识码:** A **DOI:** 10. 16688/j. zwbh. 2018065

Advances in strawberry gray mold

ZHANG Guozhen, ZHONG Shan

(Department of Plant Pathology, College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract Gray mold caused by *Botrytis cinerea* is one of the most important diseases of strawberry and can cause pre-and postharvest fruit rot of strawberry grown in the open and under protection, resulting in substantial economic losses in strawberry production all over the world. This paper reviewed the symptoms and damage, pathogens, the optimum temperature and relative humidity, factors affecting gray mold such as resistance and susceptibility of strawberry cultivars, disease incidence on flower and leaf, airborne conidial concentration and environmental conditions, integrated management of the gray mold on strawberry, as well as the investigations on the disease by the authors in recent years. It would be helpful to related researchers of the disease and strawberry growers.

Key words strawberry; gray mold; pathogen; biological characteristics; factors affecting occurrence of disease; integrated management

草莓 *Fragaria* × *ananassa* Duch. 属于蔷薇科多年生草本植物,其果实色泽艳丽,风味浓厚,营养丰富,富含维生素 C,被公认为“果中皇后”,深受消费者的青睐。2013 年全世界草莓产量达 739.6 万 t^[1]。我国自 20 世纪 80 年代以来草莓产业发展迅速,种植面积不断扩大,草莓的栽培方式也从单一的露地栽培转变为露地栽培与设施栽培并重。近年来,草莓产业发展成为我国许多地区的支柱产业,草莓观光采摘成为市民的一种时尚和文化。2015 年我国草莓种植面积已达 12.93 万 hm²,总产量为 347.9 万 t,稳居世界草莓生产第一大国。其中山东、辽宁、河北、江苏和安徽 5 省的产量位于国内前 5 名,总产量在

41.9 万~67.9 万 t 之间^[2]。

在草莓栽培过程中,有多种真菌病害发生,如灰霉病、白粉病、炭疽病、根腐病等,其中,灰霉病是世界范围内最具毁灭性的病害之一^[3],在温室和露地栽培中均普遍发生,一般造成减产 20%~30%,严重达 50%以上^[4-5]。灰霉病还引起采后草莓果实腐烂,造成很大经济损失。

1 草莓灰霉病的症状

草莓灰霉病几乎可以危害草莓地上部的所有器官,包括果实、花器(包括花瓣、雄蕊、花萼)、果柄、叶片、叶柄等,其中以果实受害最重。灰霉病危害草莓

不同部位的症状不尽相同,但在高湿条件下病部产生灰色至灰褐色霉层,是灰霉病最典型的识别和诊断特征。

1.1 果实症状

成熟或近成熟的果实容易感染灰霉病。最初果面上出现浅褐色水渍状斑点,进而形成褐色病斑,近圆形或不规则形,腐烂部分与健康部分界限不明显。高湿条件下腐烂迅速扩大并向果实内部扩展,整个果实变软,全部烂掉,出现明显的灰褐色霉层。天气干燥时,病果呈干腐状,变为僵果。幼果及未成熟果实也可染病。青果和白果染病后变硬变褐,病斑扩展较慢,但随着果实成熟变得比较感病。空气湿度大时,病部表面也会密生灰褐色霉层。

1.2 花器症状

花瓣易染灰霉病。花瓣和萼片染病后变褐,先是形成水渍状小斑点,后扩展为不规则病斑。严重时整朵花和花序枯死。染病花瓣和萼片可直接引起果实发病。花柄染病后纵向扩展,褐色腐烂。病原菌易于在草莓花药和花瓣组织内定殖^[6]。近年来发现温室草莓灰霉病在花器上的新症状,染病萼片变成红褐色,花瓣变为粉红色,并逐渐由萼片和花瓣感染果实,湿度低时不产生霉层,一旦湿度合适,便迅速在果实上表现症状^[7]。这种新症状可导致果实停止发育,形成僵果,往往危害整个花序,果枝变红^[5]。

1.3 叶部症状

叶部发病多从叶缘开始,初期在叶片上形成水渍状斑点,随后由叶缘向内呈“V”字形扩展,继而形成灰褐色的水渍状大斑,有时病斑具有轮纹。严重时病斑扩展至整个叶片,导致叶片腐烂。空气潮湿时病部形成灰褐色霉层。叶柄也可被侵染,初期颜色浅,后呈褐色至暗褐色,并扩展为长椭圆形病斑。在湿度大的情况下,叶片和叶柄病部表面着生灰褐色霉层。

2 草莓灰霉病的病原菌

长期以来,人们都认为引起草莓灰霉病的病原菌只有一个种,即灰葡萄孢 *Botrytis cinerea*。但近年来,随着对草莓灰霉病和病原菌分子鉴定方法的研究,发现除了灰葡萄孢以外,葡萄孢属的其他 4 个种也引起草莓的灰霉病。其中 1 个为新种,3 个为草莓上的新记录种。

2.1 灰葡萄孢 *B. cinerea*

灰葡萄孢是草莓灰霉病病原菌中最常见的种,有性型为富克葡萄孢盘菌 *Botryotinia fuckeliana*^[8]。至今还未见报道草莓植株或者草莓田中发现有性型的子囊盘,但从草莓上分离的灰葡萄孢的菌核上能够产生^[3]。灰葡萄孢寄主非常广泛,可以侵染包括 586 个属在内的 1 400 多种植物^[9]。根据国际上最新的真菌分类命名规则即“一菌一名”,2013 年在意大利巴里召开的葡萄孢研讨会上一致同意将葡萄孢属 *Botrytis* 作为 *Botrytis cinerea* 的属名^[9]。

灰葡萄孢的分生孢子梗直接产生在菌丝上,通常有一个膨大的基细胞。分生孢子梗粗壮,直径 16~30 μm ,较长,通常 2~5 mm,深褐色,在近顶端不规则分支。分支的顶端细胞膨大形成棍棒状的小梗。每个小梗上有突出的小齿,分生孢子在小齿上同时形成,呈葡萄穗状。分生孢子单细胞,大小为 (8~14) μm × (6~9) μm ,多核,椭圆形至倒卵圆形,表面光滑。分生孢子聚在一起呈灰色或灰褐色,但是单个孢子为无色或浅褐色^[3]。

灰葡萄孢可以产生菌核,是病原菌长期存活的一种结构,也是分生孢子产生的潜在来源。正常情况下菌核呈黑色,椭圆形或者不规则形。从草莓上分离的灰葡萄孢不同菌株的菌落形态表现多样,其菌核大小和排列方式也有较大差异^[10]。

2.2 草莓葡萄孢 *B. fragariae*

该种从越冬草莓组织中分离到,广泛分布于德国和美国东海岸的草莓种植区,北美也有发现。在新发病的草莓灰霉病病果上未分离到。基于 *hsp60*、*g3pdh*、*rpb2*、*nep1* 和 *nep2* 基因系统发育分析、形态学特征和寄主转化性,将其鉴定为葡萄孢属的一个新种^[11]。*B. fragariae* 与灰葡萄孢菌株的培养性状不同,表现为菌丝生长明显缓慢,气生菌丝比较紧实,产孢少,分生孢子小,对草莓组织的侵染能力与灰葡萄孢相似或略低,而对接种的非寄主植物的定殖能力很差。所有菌株能够在含 0.2 mg/L 咯菌腈的培养基上生长可以初步作为该种的一个鉴别标记。*B. fragariae* 的很多菌株对一种或几种类型的杀菌剂产生了抗性,属于灰葡萄孢中的 efflux-based multidrug resistance (MDR1) 型^[11]。

2.3 卡罗莱纳葡萄孢 *B. caroliniana*

该种最初是 2012 年从美国南卡罗莱纳州的黑莓上分离到的,基于形态学特征和 *Nep1* 基因的序

列分析将其鉴定为葡萄孢属的一个新种^[12-13]。同年,在美国北卡罗来纳州感染灰霉病的草莓果实上首次发现^[14]。*B. caroliniana* 与灰葡萄孢同时存在于美国北卡罗来纳州的草莓上,但数量极少,所检测的来自草莓的 198 个菌株中,只有 1 个菌株属于 *B. caroliniana*,在 PDA 和 Kings medium B 培养基上不产生分生孢子。

2.4 中华葡萄生葡萄孢 *B. sinoviticola*

该种最初是 2014 年从我国新疆石河子和湖北省武汉的葡萄上分离的,基于形态学特征和 3 个基因 *G3PDH*、*HSP60* 和 *RPB2* 的序列分析,将其鉴定为葡萄孢属的一个新种^[15]。2014 年,在我国新疆感染灰霉病的草莓病果上首次发现。与灰葡萄孢的菌株相比,*B. sinoviticola* 菌株的菌核小,分布密集,分生孢子长,对草莓叶片的致病力弱,在菌丝生长速率和产孢量方面差异不显著,对环酰菌胺均表现敏感^[10]。*B. sinoviticola* 菌株在新疆草莓灰霉病菌分离菌株中所占比率非常低,在国内其他草莓产区尚未发现。

2.5 苹果葡萄孢 *B. mali*

该种可以侵染苹果等多种植物。2017 年首次在受霜冻的草莓花和叶片中分离到,分布于美国东北部 and 东南部。草莓上分离到的苹果葡萄孢对杀菌剂的敏感谱与灰葡萄孢不同,对多抗霉素 D 的敏感性下降^[16]。

3 草莓灰霉病菌分生孢子萌发的最适温湿度

分生孢子是病原菌侵入寄主的重要接种体来源。病原菌的侵入先从孢子萌发开始,而温度和湿度是影响孢子萌发的关键因素,掌握这些特性有助于灰霉病的防控。由于研究者选取的菌株来源不同,有时得出的草莓灰霉菌的主要生物学特性存在一定差异,但总体来讲,灰霉病菌生长发育的最适温度在 20~25℃,是一种适应偏低温度的病原菌。

3.1 分生孢子萌发的最适温度

根据不同研究者测定的草莓灰霉病菌分生孢子萌发的最适温度,分别有 19℃^[17]、20℃^[18-19]、22℃^[20]、24~25℃ 温度^[21-22]。分生孢子的致死温度为 54℃ 下 10 min^[18]。尽管在 PDA 培养基上 0℃ 以下时灰葡萄孢的孢子萌发时间延迟,但 -4℃,14 d 后仍能达到 100% 的萌发率^[23]。

3.2 分生孢子萌发的最适相对湿度

当相对湿度低于 81% 时分生孢子不能萌发,相对湿度 90%~98% 开始大量萌发,在相对湿度为 100% 的水滴中培养 24 h,草莓灰霉病菌孢子萌发率为 78.5%^[18]。在相对湿度分别为 33%、60% 和 100% 的条件下,随着相对湿度的增加,孢子萌发率提高,相对湿度 100% 下 7.5 h,孢子萌发率达 96.9%^[20]。

4 草莓灰霉病菌对杀菌剂的抗性

国内外用于防治灰霉病的杀菌剂可以分为八大类,即苯并咪唑类、二甲酰亚胺类、苯胺基嘧啶类、*N*-苯基氨基甲酸酯类、酰胺类、吡咯类、甲氧基丙烯酸酯类和吡啶胺类。

4.1 草莓灰霉病菌对不同种类杀菌剂的抗性情况

苯并咪唑类杀菌剂是最早用于防治灰霉病的内吸性杀菌剂,如多菌灵和苯菌灵等。由于该类杀菌剂的大量使用,灰霉病菌早已产生了广泛的抗药性。1986 年,在新西兰草莓园中发现了抗多菌灵的灰霉病菌菌株^[24]。1987 年,在我国江苏省和上海市郊的草莓种植地也检测到了抗多菌灵的灰霉病菌的菌株^[25]。2012—2013 年,湖北省草莓灰霉病菌对多菌灵的抗性频率为 63.6%^[26]。2012—2014 年,浙江省草莓上也检测到抗多菌灵的菌株,并且检出频率呈上升趋势^[27]。辽宁、河北、北京、安徽和四川 5 个省市的草莓灰霉病菌对多菌灵的抗性频率在 53.6%~99.0%,新疆的菌株抗性频率较低,为 24.1%^[10]。

以异菌脲、腐霉利等为代表的二甲酰亚胺类杀菌剂曾是防治灰霉病的特效药,目前仍是生产上防治灰霉病的常用杀菌剂。但随着该类杀菌剂的长时间并大量使用,田间灰霉病菌出现了抗药性。2008—2011 年,德国北部、中部和南部草莓园中分别有 40.0%、76.3% 和 45.3% 的灰葡萄孢菌株对异菌脲产生了抗性^[28]。2012 年,巴西的草莓种植区也检测到了抗异菌脲和腐霉利的菌株,抗性频率分别为 25.7% 和 53.0%^[29]。我国部分省区的草莓灰霉病菌对该杀菌剂也已经产生了抗性。2005—2006 年浙江省 2 个草莓主产区的灰霉病菌对异菌脲的抗性频率为 17.5%^[30]。2010 年,浙江省杭州草莓园中灰霉病菌对异菌脲的抗性频率为 18.1%^[31]。2013—2014 年,北京地区 15 个草莓园的灰霉病菌对异菌脲的抗性由 40.4% 上升为 45.3%^[32]。

N-苯基氨基甲酸酯类杀菌剂的代表药剂是乙

霉威,兼具保护和治疗作用。该类杀菌剂与苯并咪唑类杀菌剂呈负交互抗性,曾作为替代苯并咪唑类杀菌剂的新杀菌剂来防治灰霉病,使用多年后灰霉病菌也对其产生了抗性。1999年,西班牙的草莓园中发现了对乙霉威产生抗性的菌株^[33]。2012—2013年,湖北省9个草莓种植区的灰霉病菌对乙霉威的抗性分布广泛,抗性频率为0~100%^[26]。国内辽宁、河北、北京、安徽、新疆和四川6省市区的菌株对乙霉威的抗性频率为50.0%~75.9%,以新疆的菌株抗性频率最高^[10]。

苯胺基嘧啶类杀菌剂的代表药剂主要有嘧霉胺和啉菌环胺。美国佛罗里达州的草莓园中灰霉病菌菌株抗嘧霉胺和啉菌环胺的频率分别为59.5%和52.7%^[34]。2012—2013年,湖北省的草莓灰霉病菌对啉菌环胺的抗性频率为42.4%^[26]。2012—2014年浙江省7个地区(临安、沟庄、建德、南浔、绍兴、宁波和台州)的654株草莓灰霉病菌对嘧霉胺的抗性菌株频率高达93.7%^[27]。我国西南地区的草莓灰霉病菌对嘧霉胺的高抗菌株、中抗菌株分别占43.9%和31.7%^[35]。表明草莓灰霉病菌菌株已经对嘧霉胺等苯胺基嘧啶类杀菌剂产生了较高频率的抗性。

甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂包括啉菌酯和醚菌酯等,具有广谱高效的抗菌活性。但国内外均检测到灰霉病菌对该类杀菌剂产生了抗性。2006年,日本检测到了对啉菌酯产生抗性的草莓灰霉病菌,其中佐贺市菌株的抗性频率为78.0%,茨城菌株的抗性频率为90.5%,2008年千叶市菌株抗性频率为100.0%^[36]。2011年,美国卡罗莱纳州和德国北部都发现了抗该类杀菌剂的草莓灰霉病菌菌株^[37-38]。2009年,我国台湾草莓灰霉病菌对啉菌酯的抗性频率高达87.5%,对某些菌株的 EC_{50} 值超过500 $\mu\text{g/mL}$ ^[39]。对北京地区为主的国内10个省区的草莓灰霉病菌抗啉菌酯的检测发现,草莓灰霉病菌菌株在国内多个省区有不同程度的出现,总体抗性频率为40.3%,其中北京地区菌株的抗性频率达54.7%,均为中等抗性水平,表明国内草莓灰霉病菌对啉菌酯的抗性情况较普遍^[40]。

酰胺类杀菌剂主要包括环酰菌胺和啶酰菌胺。在美国佛罗里达州,田间的草莓灰霉病菌菌株对啶酰菌胺的抗性频率高达85.4%,对环酰菌胺的抗性频率为44.0%^[34]。美国东部的草莓灰霉病菌对啶酰菌胺的抗性频率为30.0%^[41]。浙江省9个采集

地的草莓灰霉病菌对环酰菌胺的抗性频率为0~37.5%,大部分表现中等抗性,并且这些中抗菌株对其他作用机制不同的杀菌剂如多菌灵、异菌脲、啉菌酯、啉菌酯、咯菌腈等无交互抗性^[42]。2012—2013年,我国湖北省武汉和随州首次检测到了抗啶酰菌胺的菌株,抗性频率分别为3.01%和4.76%^[26]。

咯菌腈是吡咯类杀菌剂的代表,可用于防治大部分种子带菌及土传真菌病害。在德国和法国的草莓园和葡萄园中,均发现了对咯菌腈有抗性的灰霉病菌^[28]。2010—2012年,美国佛罗里达州检测到17.8%的田间草莓灰霉病菌菌株对咯菌腈的敏感性降低^[34]。在江苏省南京地区2013年检测到了对咯菌腈产生抗性的菌株^[43]。

氟啶胺是吡啶胺类杀菌剂的代表,属于保护性杀菌剂,杀菌谱广,耐雨水冲刷,持效期长^[44]。在国外,氟啶胺被广泛地用于防治灰霉病,但目前在国内仅登记用于防治马铃薯晚疫病、十字花科蔬菜根肿病,在防治草莓灰霉病方面作为推广药剂。目前,国内外未见关于灰霉病菌对氟啶胺产生抗性的报道。

4.2 草莓灰霉病菌的多药抗性

灰霉病菌对杀菌剂的抗性还表现在同时对几种杀菌剂产生抗性,即多重抗药性。在灰霉病的防治中多类杀菌剂交替频繁使用,灰霉病菌对不同类型杀菌剂出现了双抗和多抗现象。Myresiotis等^[45]对353株来自草莓和葡萄上的灰葡萄孢进行抗药性检测,其中63株对长期使用的环酰菌胺、啉菌酯、啶酰菌胺、啉菌环胺和咯菌腈5种杀菌剂具有抗性。江苏省南京、镇江地区290株草莓灰霉病菌对多菌灵、腐霉利、乙霉威、嘧霉胺、醚菌酯5种杀菌剂的多重抗药性频率为97.24%,多重抗药性表型共有54种,表型为 $\text{Car}^{\text{HR}}\text{Prc}^{\text{HR}}\text{Die}^{\text{LR}}\text{Pyr}^{\text{HR}}\text{Kre}^{\text{HR}}$ 的菌株成为田间灰霉病菌的优势亚群体,占40.69%^[43]。

5 草莓灰霉病的病害循环和流行病学

前期对草莓灰霉病发生和流行学的研究主要针对露地草莓灰霉病^[46-47]。近年来,由于设施栽培草莓的发展,草莓的栽培和灰霉病的状况也随之变化,相继开展了设施条件下草莓灰霉病的发生和流行病学研究。

5.1 病害循环

草莓灰霉病菌以菌丝、菌核或分生孢子在病残体或土壤中越冬。分生孢子是主要的初侵染源,病

残体中的菌丝体或土壤中的菌核是分生孢子产生的主要来源,但是田间草莓植株上很少产生菌核,偶尔会在死亡的叶柄部见到。分生孢子主要在白天借风、飞溅的雨水或者灌溉水在植株上进行传播,花是灰葡萄孢侵染果实的主要途径^[3]。设施条件下草莓灰霉病的风险大大降低,草莓花的侵染水平下降^[47]。

5.2 草莓品种对灰霉病的抗性

目前市场上尚没有可利用的完全抗灰霉病的草莓品种,但草莓品种间对灰霉病的感病性存在差异^[48-49]。一般认为软果型的日系品种比较容易感染灰霉病,而硬果型的欧系品种相对比较抗病^[50-51]。以往发表的对草莓品种抗感病的多数评价结果是在不同环境条件下测试的,多数结果和品种描述无法比较,甚至是相反的^[52]。如有的将‘甜查理’作为高抗亲本用于草莓抗灰霉病的遗传分析^[53],而另一些调查中‘甜查理’是比较感病的^[48,54-55]。有的以果实感病率为标准,将抗性等级划分为 0~5 级,分析比较 160 个草莓品种在田间对灰霉病的抗感反应,未发现免疫品种,但高抗品种有 4.38%,高抗品种以生长势中偏强者、株态半直立至半开张者较多^[56]。Bestfleisch 等^[52]建立了实验室条件下用灰葡萄孢孢子悬浮液接种成熟草莓果实评价草莓品种对灰霉病的抗性方法,此方法快速、简便、具有可重复性,与田间观察结果相一致,并用这种方法对德国国家果树基因库中的 107 份草莓基因型进行了评价。

草莓果实的成熟度对灰霉病的发生也有影响。随着果实的成熟,灰霉病的感病性逐渐增强^[57]。草莓果实能够产生许多挥发性有机物,如丁酸乙酯和呋喃酮等能够促进灰葡萄孢的孢子萌发,释放丁酸乙酯多的草莓品种对灰葡萄孢更敏感^[58]。草莓果实受伤时还会产生一些其他的挥发性有机物,可能作为灰葡萄孢识别寄主受伤组织并侵入的信号物质,促进孢子萌发和菌丝生长,说明果实成熟期间挥发性有机物含量的变化可促进灰葡萄孢在果实中的快速生长和扩展,最终引起果实发病^[58]。

有研究者尝试通过转基因的方法提高草莓对灰霉病的抗性。将菜豆中编码几丁质酶的基因 *ch5B* 转入草莓植株后诱导了对灰葡萄孢的抗性,其抗性与叶片中外源蛋白 CH5B 的存在和几丁质酶的活性有关^[59]。

花瓣脱落的迟早是草莓品种的特性之一,草莓不同品种花瓣脱落的迟早存在着差异。花瓣的存在

是灰葡萄孢侵染果实的有效而稳定的来源,在果实膨大期至成熟期,花瓣的存在增加了果实被侵染的几率,因此,清除花瓣对于减少侵染源是有作用的^[60]。花瓣脱落迟的草莓品种灰霉病发生严重,现蕾后第 7 天的花瓣脱落率与果实灰霉病的发生呈显著负相关性^[61]。

5.3 草莓栽培及管理措施对灰霉病发生的影响

通过对大棚草莓灰霉病的调查发现,种植密度大,通风透光条件差的发病重^[18,62]。种植密度大,植株间隙太小会增加植株间的湿度从而加重果实灰霉病的发生^[49];氮肥用量大发病重,连作地块发病重^[54,62],连作大棚初现灰霉病的时间比新建大棚提前 30 d 左右^[63]。

5.4 草莓不同器官带菌量、空气中孢子量与灰霉病的发生

草莓器官带菌与灰霉病的发生有直接关系。采后草莓灰霉病的发病率一般为 2.1%~32.6%,与花瓣带菌率有关^[64]。对草莓不显症的叶片、花和果实的真菌宏基因组分析表明,葡萄孢属真菌最丰富,相对丰度最高(RA),为 53.8%,这可以部分解释为什么取样期间田间有较高的灰霉病发病率,而且用杀菌剂处理后叶片上的灰葡萄孢丰度不受影响,大量的作为潜在接种体来源的分生孢子在任何时间点都可能作为侵染果实的来源^[65]。Boff 等对荷兰草莓灰霉病流行病学研究发现,草莓花瓣的带菌率为 5%~96%,采摘时的病果率(1.4%~11.3%)与采摘期的日平均降水量具有相关性,与花的带菌率没有相关性;采后草莓的病果率(2.1%~32.6%)与灰葡萄孢在花瓣上的产孢面积显著正相关^[64]。在北京地区对温室草莓连续两个生长季监测草莓花瓣带菌率的动态变化发现,脱落花瓣的带菌率明显高于新鲜花瓣,草莓新增病果数与 7 d 前新鲜花瓣带菌率之间呈极显著正相关($P \leq 0.01$)^[66]。

有关空气中的孢子量与灰霉病发生的关系方面,Xu 等^[46]根据气象因子和利用 Burkard 孢子捕捉器所捕获的空气中灰葡萄孢分生孢子数量,分别建立了露地草莓灰霉病花器带菌率与气象因子、花器带菌率与空气中分生孢子数量、花器带菌率与气象因子和空气中分生孢子数量之间的关系模型,所建 3 个模型均达到显著性水平,其中基于气象因子和空气中分生孢子数量所建模型的预测效果最好,并且基于气象因子所建模型的预测效果优于基于空

气中分生孢子数量所建模型。Blanco 等^[67]研究了西班牙露地草莓空气中分生孢子浓度、环境条件以及花器带菌率和病果率之间的关系,发现空气中的孢子浓度与平均太阳辐射和平均温度均呈显著正相关,与降雨和相对湿度均呈负相关;7 d 累计分生孢子数量与灰霉病病果率之间呈显著正相关。徐佳美等^[66]对北京地区草莓日光温室中灰葡萄孢的分生孢子数量在一天 24 h 内以及一个生长季中的动态变化进行了监测,一天当中捕获的分生孢子数量主要集中在 05:00—18:00,以 11:00—14:00 孢子数量最大。新增草莓灰霉病病果数与 7 d 前当天捕获的分生孢子数量呈极显著正相关($P \leq 0.01$)。2014—2015 年生长季最早在 12 月底捕获到分生孢子,随着草莓逐渐成熟,捕获的分生孢子数量逐渐增多。

针对韩国出口包装草莓发生灰霉病的问题,为了验证包装场所的草莓灰霉病是否与草莓生产地的孢子量多少有关,Jeon 等^[68]连续 2 年进行了观察研究,证明包装出口草莓的菌源来自于草莓产地,要减少草莓灰霉病的发生,无论是包装草莓还是贮藏草莓,都必须在生产地采取措施控制菌源。

环境条件对草莓灰霉病的发生有重要影响。温湿度不仅是影响灰霉病菌孢子萌发的重要因素,也是影响灰霉病发生的关键条件。对露地草莓灰霉病的研究发现,持续低温有利于病原菌繁殖和侵入,而不利草莓生长,一般促成和半促成栽培条件下的草莓果实灰霉病发生尤为严重;露地草莓在结果中后期有降雨,或者草莓一级果实成熟后浇水过大,久旱遇雨也会加重病害^[50]。花期长时间保持高湿条件草莓灰霉病发生严重^[69-70],尤其是花期的日相对湿度大于 80%或者 90%,且温度在 15~25℃时与果实灰霉病的发生显著相关^[70]。灰葡萄孢侵染草莓花的最适温度为 20℃,当高于 25℃或者低于 15℃时,对花和果实的侵染率都会显著减少^[47]。果实灰霉病的发生与果实采收前的日相对湿度大于 80%及降雨量显著相关,天气条件对果实灰霉病发生率有重要影响^[69,71]。

温室草莓灰霉病发生的适宜温度为 20~25℃^[7,22]。25℃以上不利于草莓灰霉病的蔓延,灰霉病发生的最适相对湿度为 90%以上,冬春棚室内低温高湿的环境是灰霉病流行的主要因素,若遇上连续阴雨天气,田间湿度较大,病害便会迅速传播^[18]。当日光温室内日平均温度在 15℃~25℃、相对湿度高于 80%时,草莓灰霉病容易发生;当日光温室内相对湿

度低于 50%时,则不易发生。日光温室内温度、相对湿度和空气中分生孢子数量是草莓灰霉病发生的 3 个主要因素^[66]。湖北省设施草莓大棚中果实带菌率、叶片发病率、温度对草莓果实发病影响最为显著^[72]。

光照对温室草莓灰霉病的发生也有明显的影响。连续阴天时间超过 12 h,草莓灰霉病的病株率增加^[73]。作者在北京地区对温室草莓灰霉病的调查发现,当光照严重不足时,灰霉病发生加重,若连续几日发生严重雾霾,或在冬季低温期为了维持温室内的温度而不揭棚帘,均会使草莓灰霉病发生加重。

6 草莓灰霉病的防治

基于草莓的特性、病原菌的生物学特性和灰霉病的发生规律,要实现采前草莓灰霉病的安全有效防控,主要应从以下几方面进行综合防控。

6.1 农业栽培措施

棚室消毒:种植前采用高温闷棚或熏蒸处理对草莓棚室进行彻底消毒,减少菌源。

合理轮作:提倡大棚草莓与水稻、玉米、豆类轮作。不与黄瓜、番茄、辣椒、茼蒿等容易发生灰霉病的蔬菜轮作。不与葡萄立体种植,避免灰霉病菌的相互传染。

栽培管理:对易感品种,要控制氮肥的施用量,注意增施磷肥和钾肥。及时摘除棚内老叶、枯叶、病叶和病果,并带出大棚彻底销毁处理,以减少温室内的菌量和侵染来源。

6.2 生态防控

采用高垄栽培,垄面覆盖黑色地膜或者银黑双色地膜,膜下铺设滴灌管,不仅有利于节水,减少土壤水分蒸发和降低果实周围湿度,提高地温,而且还可以防止植株和果实与地面直接接触,防止土壤中的病原菌直接接触和侵染草莓。合理的定植密度,可改善通风和光照条件,有利于控制灰霉病的发生。一般每 667 m² 定植 8 000~10 000 株。每垄 2 行,“之”字形栽培,行距 20 cm,株距 15~20 cm。

6.3 生物防治

用于防治草莓灰霉病的生防制剂一方面是直接利用拮抗微生物,一方面是用微生物产生的生物活性物质,如次生代谢产物和抗生素,或植物源杀菌剂。国内用于防治草莓灰霉病的生物制剂或植物源制剂有:枯草芽孢杆菌 1 000 亿/g 可湿性粉剂^[7]、寡

雄腐霉 100 万孢子/g 可湿性粉剂^[74-75]、哈茨木霉 3 亿/g 可湿性粉剂^[76]、20%丁香酚水乳剂^[77]、20%乙蒜·丁子香酚可湿性粉剂^[78]、芽胞杆菌与氟啶胺复配^[79]、多抗霉素与丁子香酚混配^[80]。但在草莓上登记的生物制剂只有枯草芽胞杆菌可湿性粉剂、多抗霉素和 20%β-羽扇豆球蛋白多肽水剂^[81]。

6.4 化学防治

目前,在很多草莓种植区化学防治依然是灰霉病的主要防治手段。在其他措施达不到理想控制效果的时候,合理使用化学杀菌剂进行控制是必要的。但应注意选择高效低毒的杀菌剂,并注意杀菌剂的安全间隔期,严禁使用中等毒性及以上的杀菌剂。相对于其他作物而言,在草莓上登记的防治灰霉病的杀菌剂有限。国外在草莓开花初期用环酰菌胺(有效成分用量 750 g/hm²)取得良好防效^[82]。国内在草莓上登记的化学杀菌剂仅有唑醚·氟酰胺、唑醚·啉酰菌、氟菌·肟菌酯、克菌丹、啉酰菌胺和啉霉胺^[81]。其他一些有效杀菌剂在草莓上也有应用,如咯菌腈^[83]、氟啶胺^[79]、啉菌环胺、环酰菌胺、啉氧菌酯^[84]等。由于灰霉病菌对多种常用杀菌剂如啉霉胺、啉菌环胺、腐霉利、异菌脲、乙霉威、啉菌酯等均已产生了抗性,建议少用或与新型高效杀菌剂轮换使用,以防止和减缓灰霉病菌抗药性的产生。

药剂熏蒸:如遇连阴天气或棚室湿度大时,可选用百菌清烟剂、腐霉利烟剂等进行熏蒸处理。或用喷粉法以减少棚内空气湿度。

7 国内草莓灰霉病防治方面存在的问题与展望

7.1 病原菌对常用杀菌剂普遍产生抗性,杀菌剂使用不够科学合理

根据国内已有报道,草莓灰霉病的主要病原菌灰葡萄孢对苯并咪唑类、二甲基酰亚胺类杀菌剂、苯胺基嘧啶类、二甲基酰亚胺类等杀菌剂普遍产生了抗性。抗性的产生一方面与病原菌本身的特性如具有高遗传变异性、寄主广泛、繁殖传播能力强等特点,对单作用位点杀菌剂显示出高水平的抗药性风险^[85]有关之外,与杀菌剂的使用不科学或不合理也有密切关系,如不少农户缺乏对病害的准确判断,不管草莓有没有发病都要定期打药,并随意加大使用浓度或用量,在一个生长季多次使用同一种或同一类药剂,从而降低了杀菌剂的防治效果。

7.2 草莓上登记的杀菌剂种类非常有限

在草莓上登记的防治灰霉病的药剂种类非常有限,生物制剂 2 种,化学杀菌剂 6 种^[81],不能满足生产上防治灰霉病的需求,用药选择的局限性大。

7.3 草莓灰霉病的预警系统还不完善,缺乏准确的防治指标

针对草莓灰霉病的防治,国外建立了一些预测模型^[46]和防控系统。如美国建立了称为“草莓咨询系统(the Strawberry Advisory System, SAS)”的草莓病害预警系统。该系统用气象站采集的数据和短期天气预报,基于叶片湿润时数(leaf wetness duration, LWD)和降水期间的温度建立的模型,或者高度依赖于所选择的阈值,将病害风险分为低、中和高三个风险等级^[86]。应用该系统,当预测灰霉病为高风险发病率时,用咯菌腈+啉菌环胺或氟吡菌酰胺,草莓灰霉病得到最好的控制,杀菌剂用量只是基于病害防治历的一半,当天气条件高度适宜发病时,用药时间和药剂选择是有效防治草莓灰霉病的关键^[4]。

尽管我国是世界上的草莓生产大国,对于草莓灰霉病的研究也有比较多的报道,但相对于国外对草莓灰霉病的预警和防治手段而言,缺乏可操作的病害预警系统和防治阈值。在实际生产中,生产者多凭自己的经验来决定用药时间和用药种类。

7.4 展望

针对我国在草莓灰霉病防治方面的现状和存在的一些问题,要生产让老百姓吃着放心的安全优质草莓,需要政府管理部门、科研工作者和草莓种植者共同努力。期待国内尽快调整和完善现有的杀菌剂登记制度,挖掘和筛选可用于草莓灰霉病的替代杀菌剂,以增加用药的选择性,提高防治效果;建立灰霉病菌田间抗药性监测体系和用于南北方草莓灰霉病的预警系统,指导生产者掌握准确的用药时间,科学和合理用药,最大限度地发挥药剂的防治效果。可喜的是,农业部已经开始在全国创建农作物病虫害专业化统防统治与绿色防控融合示范基地,促进了绿色防控技术措施与统防统治组织方式有机融合。在北京地区,开展了以政府购买服务的方式,由植物病虫害防治专业化服务公司为草莓生产商进行病虫害统防统治,解决一家一户“打药难”的问题,提升了科学用药水平,减少了农药使用量。各郊区县还建立了植物诊所,由经过培训合格的植物医生为种植户开具植物病虫害绿色综合防控大处方。相信

在不久的将来,我国的草莓产业和草莓病虫害防治工作会迈上一个新台阶。

参考文献

- [1] FAOSTAT. Food and agriculture organization of the United Nations [EB/OL]. 2015. <http://www.fao.org/home/zh/>.
- [2] 中华人民共和国农业部. 中国农业统计资料 2015[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015:59.
- [3] MAAS J L. 草莓病虫害概论 [M]. 第 2 版. 张运涛, 张国珍主译. 北京: 中国农业出版社, 2012.
- [4] CORDOVA L G, AMIRI A, PERES N A. Effectiveness of fungicide treatments following the strawberry advisory system for control of *Botrytis* fruit rot in Florida [J]. Crop Protection, 2017, 100: 163–167.
- [5] 谢学文, 肖长坤, 郑书恒, 等. 李宝聚博士诊疗手记(五十一) 草莓灰霉病新症状的诊断与防治技术[J]. 中国蔬菜, 2012(17): 25–26.
- [6] BRISTOW P R, MCNICOL R J, WILLIAMSON B. Infection of strawberry flowers by *Botrytis cinerea* and its relevance to grey mould development [J]. Annals of Applied Biology, 1986, 109(3):545–554.
- [7] 肖长坤, 高苇, 夏冰, 等. 设施栽培草莓灰霉病发生规律及其综合防治[J]. 中国植保导刊, 2012, 32(9): 24–26.
- [8] FARETRA F, ANTONACCI E, POLLASTRO S. Sexual behaviour and mating system of *Botryotinia fuckeliana*, teleomorph of *Botrytis cinerea*[J]. Journal of General Microbiology, 1988(9): 2543–2550.
- [9] FILLINGER S, ELAD Y. *Botrytis*—the fungus, the pathogen and its management in agricultural systems [M]. Switzerland: Springer International Publishing AG, 2016: 413–486.
- [10] 张佳. 中国草莓主产区灰霉菌菌的多样性研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
- [11] RUPP S, PLESKEN C, RUMSEY S, et al. *Botrytis fragariae*, a new species causing gray mold on strawberries, shows high frequencies of specific and efflux-based fungicide resistance [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2017, 83(9): 1–16.
- [12] LI Xingpeng, FERNÁNDEZ-ORTUÑO D, CHAI Wenxuan. Identification and prevalence of *Botrytis* spp. from blackberry and strawberry fields of the Carolinas [J]. Plant Disease, 2012, 96(11):1634–1637.
- [13] LI Xingpeng, KERRIGAN J, CHAI Wenxuan, et al. *Botrytis caroliniana*, a new species isolated from blackberry in South Carolina [J]. Mycologia, 2012, 104(3):650–658.
- [14] FERNÁNDEZ-ORTUÑO D, LI X P, WANG F, et al. First report of gray mold of strawberry caused by *Botrytis caroliniana* in north Carolina [J]. Plant Disease, 2012, 95(11):1482.
- [15] ZHOU Y J, ZHANG J, WANG X D, et al. Morphological and phylogenetic identification of *Botrytis sinoviticola*, a novel cryptic species causing gray mold disease of table grapes (*Vitis vinifera*) in China [J]. Mycologia, 2014, 106(1): 43–56.
- [16] DOWLING M E, SCHNABEL G. First report of *Botrytis ma-*
li causing gray mold on strawberry in the United States [J]. Plant Disease, 2017, 101(6): 1034.
- [17] 童蕴慧, 徐敬友, 陈夕军, 等. 灰葡萄孢分生孢子萌发的条件研究[J]. 江苏农业研究, 1999, 20(4): 29–31.
- [18] 孟祥东, 傅俊范, 周如军, 等. 保护地主要园艺作物灰霉菌菌生物学特性比较研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2007(3): 322–326.
- [19] 张红霞. 草莓灰霉病分析及防治措施[J]. 北京农业, 2014(6):45.
- [20] 徐佳美. 草莓灰霉病菌的生物学特性及日光温室草莓灰霉病发病规律研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
- [21] 任秀云, 吕德国, 安志强. 草莓灰霉病菌及其生理特性的研究[J]. 北方果树, 1992(3): 18–20.
- [22] 王春艳. 草莓灰霉病发生危害及防治研究初报[J]. 植物保护, 1997, 23(3):32–33.
- [23] 田世平. 低温对葡萄孢菌(*Botrytis cinerea*)菌丝生长和孢子萌发以及对贮藏葡萄侵染力的影响[J]. 植物病理学报, 2001, 31(1): 56–62.
- [24] BEEVER R E, BRIEN H M R. A survey of resistance to the dicarboximide fungicides in *Botrytis cinerea* [J]. New Zealand Journal of Agricultural Research, 1983, 26(3):391–400.
- [25] 周明国, 叶钟音, 杭建胜, 等. 对多菌灵具有抗性的草莓灰霉病菌菌株形成与分布研究[J]. 南京农业大学学报, 1990, 13(3):57–60.
- [26] FAN Fei, HAMADA M, LI Na, et al. Multiple fungicide resistance in *Botrytis cinerea* from greenhouse strawberries in Hubei Province, China [J]. Plant Disease, 2017, 101(4): 601–606.
- [27] 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.
- [28] LEROCH M, PLESKEN C, WEBER R W, et al. Gray mold populations in German strawberry fields are resistant to multiple fungicides and dominated by a novel clade closely related to *Botrytis cinerea* [J]. Applied & Environmental Microbiology, 2013, 79(1):159–167.
- [29] LOPES U P, ZAMBOLIM L, CAPOBIANGO N P, et al. Resistance of *Botrytis cinerea* to fungicides controlling gray mold on strawberry in Brazil [J]. Bragantia, 2017, 76(2): 266–272.
- [30] 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.
- [31] 胡伟群, 朱卫刚, 张蕊蕊, 等. 灰葡萄孢多药抗性菌株的筛选和鉴定[J]. 农药学报, 2011, 13(6):586–590.
- [32] 陈帅民, 芦帆, 张璨, 等. 北京地区草莓灰霉病菌对异菌脲的抗性及其分子机制[J]. 植物保护, 2015, 41(5):100–104.
- [33] CAO C F, WANG Z, URRUTY L, et al. Focused microwave assistance for extracting some pesticide residues from strawberries into water before their determination by SPME/HPLC/DAD [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2001, 49(11):5092–5097.
- [34] AMIRI A, HEATH S M, PERES N A. Phenotypic characterization of multifungicide resistance in *Botrytis cinerea* isolates from strawberry fields in Florida [J]. Plant Disease, 2013, 97(3):393–401.

- [35] 徐慧,董德成,张传博. 西南地区草莓灰霉病菌对啞霉胺的抗药性及致病力分析[EB/OL]. 分子植物育种, [2017-04-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20170426.1310.002.html>.
- [36] ISHII H, FOUNTAINE J, CHUNG W H, et al. Characterisation of QoI-resistant field isolates of *Botrytis cinerea* from citrus and strawberry [J]. Pest Management Science, 2009, 65(8): 916-922.
- [37] FERNÁNDEZ-ORTUÑO D, CHEN F, SCHNABEL G. Resistance to pyraclostrobin and boscalid in *Botrytis cinerea* isolates from strawberry fields in the Carolinas [J]. Plant Disease, 2012, 96(8):1198-1203.
- [38] WEBER R W S. Resistance of *Botrytis cinerea* to multiple fungicides in northern German small-fruit production [J]. Plant Disease, 2011, 95(10):1263-1269.
- [39] CHEN L S, CHUNG W C, CHUNG W H. Sensitivity of *Botrytis cinerea* of strawberry to strobilurins (QoIs) in Taiwan [J]. Plant Pathology Bulletin, 2009, 18(2): 89-99.
- [40] 张佳, 张璨, 芦帆, 等. 草莓灰霉病菌对啞菌酯的抗性检测及抗性菌株的生物学特性研究[J]. 植物病理学报, 2016, 46(1):124-130.
- [41] HU Mengjun, FERNÁNDEZ-ORTUÑO D, SCHNABEL G. Monitoring resistance to SDHI fungicides in *Botrytis cinerea* from strawberry fields [J]. Plant Disease, 2016, 100(5):959-965.
- [42] YIN Dafang, WU Sisi, LIU Na, et al. The natural fenhexamid-resistant grey mould populations from strawberry in Zhejiang Province are dominated by *Botrytis cinerea* group S [J]. Pest Management Science, 2016, 72(8): 1540-1548.
- [43] 赵虎,王松群,余新燕,等. 南京、镇江地区草莓灰霉病菌对6种杀菌剂的抗药性及生物学性状分析[J]. 基因组学与应用生物学, 2016, 35(7):1828-1834.
- [44] 晓岚. 新杀菌剂氟啶胺的生物活性[J]. 世界农药, 1996(1): 43-48.
- [45] MYRESIOTIS C K, KARAOGLANIDIS G S, TZAVELLAK-LONARI K. Resistance of *Botrytis cinerea* isolates from vegetable crops to anilinopyrimidine, phenylpyrrole, hydroxanilide, benzimidazole, and dicarboximide fungicides [J]. Plant Disease, 2007, 91(4):407-413.
- [46] XU X M, HARRIS D C, BERRIE A M. Modeling infection of strawberry flowers by *Botrytis cinerea* using field data [J]. Phytopathology, 2000, 90(12): 1367-1374.
- [47] XU Xiangming, WEDGWOOD E, BERRIE A M, et al. Management of raspberry and strawberry grey mould in open field and under protection. A review [J]. Agronomy for Sustainable Development, 2012, 32(2):531-543.
- [48] SEJO T E, CHANDLER C K, MERTELY J C, et al. Resistance of strawberry cultivars and advanced selections to anthracnose and *Botrytis* fruit rots [C]. Meeting of the Florida State Horticultural Society, 2008, 121:246-248.
- [49] LEGARD D E, XIAO C L, MERTELY J C, et al. Effects of plant spacing and cultivar on incidence of *Botrytis* fruit rot in annual strawberry [J]. Plant Disease, 2000, 84(5):531-538.
- [50] 樊慕贞, 朱杰华, 黄天成, 等. 草莓灰霉病的发生和防治研究[J]. 河北农业大学学报, 1995, 18(2): 21-29.
- [51] 刘正雄, 胡学军, 邢冬梅, 等. 北京昌平区温室草莓常见病虫害发生特点及综合防治技术应用[J]. 中国植保导刊, 2011, 31(8):29-31.
- [52] BESTFLEISCH M, LUDERER-PFLIMPF M, HÖFER M, et al. Evaluation of strawberry (*Fragaria L.*) genetic resources for resistance to *Botrytis cinerea* [J]. Plant Pathology, 2015, 64(2):396-405.
- [53] 曹炯, 高清华, 聂涛涛, 等. 草莓灰霉病抗性遗传分析和分子标记初定位[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2011, 29(4): 75-79.
- [54] 张亚, 王凌宇, 刘双清, 等. 湖南省草莓灰霉病的发生与防治[J]. 微生物学杂志, 2015, 35(1): 79-84.
- [55] 韩永超, 曾祥国, 向发云, 等. 草莓新品种晶玉对炭疽病和灰霉病的抗性鉴定[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(13):3153-3156.
- [56] 赵密珍, 余桂红, 钱亚明, 等. 草莓品种灰霉病抗性田间鉴定[J]. 植物遗传资源科学, 2002, 3(4): 36-38.
- [57] WILLIAMSON B, TUDZYNSKI B P, KAN J A L V. *Botrytis cinerea*: the cause of grey mould disease [J]. Molecular Plant Pathology, 2007, 8(5):561-580.
- [58] NERI F, CAPPELLIN L, SPADONI A, et al. Role of strawberry volatile organic compounds in the development of *Botrytis cinerea* infection [J]. Plant Pathology, 2015, 64(3):709-717.
- [59] GABRIEL R V, JUAN C D R, LA'ZARO H, et al. Enhanced resistance to *Botrytis cinerea* mediated by the transgenic expression of the chitinase gene *ch5B* in strawberry [J]. Transgenic Research, 2006, 15(1):57-68.
- [60] BOFF P, DE KRAKER J, GERLAGH M, et al. The role of petals in development of grey mould in strawberries [J]. Tropical Plant Pathology, 2003, 28(1):76-83.
- [61] 韩永超, 曾祥国, 向发云, 等. 草莓花瓣脱落对果实灰霉病的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(22):4460-4468.
- [62] 洪海林, 李国庆, 沈成艳, 等. 不同栽培方式下草莓灰霉病的发生动态[J]. 湖北农业科学, 2016(13):3359-3363.
- [63] 罗军, 何美仙. 大棚草莓灰霉病的发生及其防治措施[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(22):74.
- [64] BOFF P, KASTELEIN P, KRAKER J D, et al. Epidemiology of grey mould in annual waiting-bed production of strawberry [J]. European Journal of Plant Pathology, 2001, 107(6):615-624.
- [65] ABDELFAITAH A, WISNIEWSKI M, LI D N M, et al. Metagenomic analysis of fungal diversity on strawberry plants and the effect of management practices on the fungal community structure of aerial organs [J]. PLoS ONE, 2016, 11(8):e0160470.
- [66] 徐佳美, 王海光, 秦丰, 等. 北京地区日光温室草莓灰霉病发生动态监测和影响因素分析[J/OL]. 植物病理学报, [2017-07-11]. doi:10.13926/j.cnki.appps.000167.
- [67] BLANCO C, SANTOS B D L, ROMERO F. Relationship between concentrations of *Botrytis cinerea* conidia in air, environmental conditions, and the incidence of grey mould in strawberry flowers and fruits [J]. European Journal of Plant Pathology, 2006, 114(4): 415-425.
- [68] JEON C W, KIM D, PARK J J, et al. Exported strawberry

gray mold decay related spore density and disease incidence in cultivation field [J]. Korean Journal of Pesticide Science, 2017, 21(2):224-231.

- [69] JARVIS W R. The effect of some climatic factors on the incidence of grey mould of strawberry and raspberry fruit [J]. Horticultural Research, 1964, 3(2): 65-71.
- [70] WILCOX W F, SEEM R C. Relationship between strawberry gray mold incidence, environmental variables, and fungicide applications during different periods of the fruiting season [J]. Phytopathology, 1994, 84(3):264-270.
- [71] JARVIS W R. The infection of strawberry and raspberry fruits by *Botrytis cinerea* Fr. [J]. Annals of Applied Biology, 1962, 50(3):569-575.
- [72] 高翠珠, 杨红玲, 黄夏宇骐, 等. 湖北省设施草莓灰霉病发生规律及流行因子分析[J]. 中国农业科学, 2017, 50(9):1617-1623.
- [73] 张绍民, 侯奇, 谷继成. 温室草莓灰霉病的发病规律[J]. 北京农业, 2013(3): 70-72.
- [74] 邱先斌, 李莉, 张惠琼, 等. 寡雄腐霉防治大棚草莓病害试验初报[J]. 湖北植保, 2014(4):25-27.
- [75] 杨爱宾, 冯学良, 宋广玉, 等. 利用寡雄腐霉菌防治草莓真菌病害[J]. 天津农业科学, 2017, 23(1):85-87.
- [76] 田连生, 王伟华, 石万龙, 等. 利用木霉防治大棚草莓灰霉病[J]. 植物保护, 2000, 26(2):47-48.
- [77] 张猛. 植物源杀菌剂 20%丁香酚水乳剂对草莓灰霉病的田间

防治效果[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(1):132-133.

- [78] 吉沐祥, 吴祥, 束兆林, 等. 新型植物源杀菌剂 20%乙蒜·丁子香酚 WP 防治草莓灰霉病试验[J]. 农药, 2010, 49(6):458-459.
- [79] 谷春艳, 王学峰, 苏贤岩, 等. 解淀粉芽孢杆菌 WH1G 与氟啶胺协同防治草莓灰霉病[J]. 农药, 2017, 56(12): 932-936.
- [80] 吴祥, 吉沐祥, 郭玉人, 等. 多抗霉素与丁子香酚混配对草莓灰霉病的防治效果[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(22):94-97.
- [81] 中国农药信息网[EB/OL]. <http://www.chinapesticide.gov.cn/>.
- [82] DUBEN J, ROSSLENBROICH H J, JENNER G. Teldor(R) (fenhexamid)-a new specific fungicide for the control of *Botrytis cinerea* and related pathogens on *Rubus*, *Ribes* and other crops [J]. Acta Horticulturae, 2002(585): 325-329.
- [83] 李成, 朱吉明, 徐锦瑾, 等. 青浦区防治草莓灰霉病药剂筛选试验[J]. 上海农业科技, 2017(4):123-124.
- [84] 张颂函, 陈秀, 赵莉, 等. 6 种杀菌剂防治草莓灰霉病的田间药效评价[J]. 世界农药, 2015(5):47-49.
- [85] 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(9): 876-888.
- [86] MACKENZIE S J, PERES N A. Use of leaf wetness and temperature to time fungicide applications to control *Botrytis* fruit rot of strawberry in Florida [J]. Plant Disease, 2012, 96(4):529-536.

(责任编辑: 田 喆)

图书推荐——

《菌物进化系统学》(中译本)



菌物分类学是从事微生物工作的基础。2014年至2015年, 美国菌物学家D. J. 麦克劳克林和J. W. 斯帕塔福拉组织全世界71位一线研究者编著的《菌物进化系统学》(第二版), 是近20年来全世界第一部权威的真菌进化系统学专著。该书是相关人士了解菌物分类进展、查阅菌物分类鉴定命名的必备参考。中文版由秦国夫、刘小勇主译, 戴玉成校对, 科学出版社2018年1月份出版。全书共25章, 880页, 134万字, 铜版彩色印刷。

定价: 398元

联系人: 明朗书店—李秋艳

联系电话/微信: 13940061709

Qq: 66305872 邮编: 110031

开户行: 中国光大银行沈阳皇姑支行

汇款账户: 6214911900026086

科学出版社