

◆ 综述与进展 ◆

中国小麦茎基腐病的农药防治策略与展望

巫 琪^{1,2}, 余曼丽^{1*}, 曹立冬¹, 赵鹏跃¹, 曹 冲¹, 尹明明¹, 程家高^{2*}, 黄啟良¹

(1. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193; 2. 华东理工大学药学院, 上海 200237;)

摘要:近年来,我国小麦茎基腐病呈愈来愈严重的态势,已经严重威胁到我国小麦的安全生产,因此,对于小麦茎基腐病的高效防控迫在眉睫。现阶段,使用农药是防控小麦茎基腐病最简便、经济的重要途径。从化学农药应用和生物农药应用两方面对小麦茎基腐病的防控研究进展进行综述,在此基础上,提出今后需要加快高抗品种选育利用及科学栽培管理、加强监测预警技术研究、加大缓控释农药制剂开发力度、重视杀菌剂与杀虫剂等结合使用、加强专用型施药装备研发,多措并举,综合防治,以期为我国小麦茎基腐病的高效防控提供科学依据。

关键词:小麦茎基腐病;假禾谷镰刀菌;杀菌剂应用;综合防治

中图分类号:S 435.121 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1671-5284.2024.04.004

Strategies and prospects of utilizing pesticides to control Fusarium crown rot on wheat in China

WU Qi^{1,2}, YU Manli^{1*}, CAO Lidong¹, ZHAO Pengyue¹, CAO Chong¹, YIN Mingming¹, CHENG Jiagao^{2*}, HUANG Qiliang¹

(1. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. School of Pharmacy, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract: In recent years, Fusarium crown rot (FCR) has become increasingly severe in China and pose a serious threat to the safe production of wheat. Effective management measures for this disease are urgently needed. At present, pesticide application represents the most convenient and economical approach to control FCR. The research progress of the FCR control technology of application of chemical pesticides and biological pesticides were reviewed in this paper. On these basises, it was proposed that the selection and utilization of resistant cultivars should be promoted, and scientific cultivation of wheat should be implemented, the research on monitoring and early warning systems of FCR should be strengthened, the development of controlled release formulations of pesticides should be intensified, the efficient utility of combination of fungicides and insecticides should be paid more attention to, and the development of specific application equipment should be strengthened in the future, which means that integrated management of FCR should be strengthened by combined utility of multiple measurements. It was expected to lay scientific foundation for the efficient managements of FCR of wheat in China.

Key words: Fusarium crown rot; *Fusarium pseudograminearum*; fungicide application; integrated control

小麦茎基腐病(Fusarium crown rot, FCR)是由镰刀菌属真菌侵染小麦茎基部,全生育期均可引发危害的土传真菌病害^[1]。发病初期会导致种子不能正常萌发、根部腐烂、叶片发黄;随着病程的发展,

中后期茎基部出现褐变且易折断,茎节处产生红色或白色霉层,最终导致小麦植株产生白穗,籽粒不饱满甚至无籽,极大影响小麦的产量^[2]。此外,被病原菌侵染后,植株体内还会产生以单端孢霉烯族类

收稿日期:2023-12-07

基金项目:国家重点研发计划(2022YFD170050102)

作者简介:巫琪(2000—),男,湖北安陆人,硕士研究生,主要从事农药剂型加工工作。E-mail: 15826876169@163.com

通信作者:余曼丽(1988—),女,贵州遵义人,主要从事农药剂型加工与质量控制技术研究。E-mail: yumanli01@caas.cn

共同通信作者:程家高(1978—),男,山东沂南人,主要从事农药分子设计、绿色农药创制以及传统农药绿色化改进等研究。

E-mail: jgcheng@ecust.edu.cn

真菌毒素为主的一系列具有生物活性的次生代谢产物。单端孢霉烯族毒素,主要由镰刀菌、头孢霉、漆斑菌、葡萄穗霉、木霉和其他一些霉菌产生的生物活性和化学结构相似的有毒代谢产物,在自然界中广泛存在,主要污染大麦、小麦、燕麦、玉米等谷物。这些毒素会抑制细胞DNA、RNA、核糖体蛋白和细胞蛋白质的合成,激活核糖毒性应激反应,误食含有此类毒素的小麦会对人和其他哺乳动物的生命健康构成严重威胁^[3-8]。

自1951年澳大利亚首次报道由假禾谷镰刀菌(*Fusarium pseudograminearum*)引起的小麦茎基腐病以来,这一病害在世界各地小麦主产区蔓延^[9]。2012年,我国河南省首次报道了由假禾谷镰刀菌引起的小麦茎基腐病^[10]。随后,该病发生范围不断扩大,危害程度逐渐加重,尤其是在黄淮海小麦主产区,已发展成为小麦主要病害,严重威胁我国小麦安全生产^[11]。2021年,河南省受害面积达56.36万hm²,导致减产20%~30%^[12];2020年,山东省受害面积高达82.87万hm²,涉及16个市115个县,平均有13.27%植株染病,2.46%植株出现白穗症状^[13];2018年,河北省沧州市小麦病田率8%~10%,病株率5%~15%,造成减产20%~30%^[14]。经农业农村部分析研判,2023年,华北和黄淮海地区发病总面积将达到5 000万hm²,必将对我国小麦的生产安全和质量安全带来严重影响^[15]。因此,针对我国小麦茎基腐病,亟需采取有效措施加强防控,以保障小麦稳产丰收。

前期研究已经基本明确,我国小麦主流品种抗病性差,加之秸秆直接还田和免耕制度的推广应用,造成田间病原菌大量累积,这是导致我国小麦茎基腐病日益严重的重要原因^[16-17]。科学用药是最简便有效的防治手段,但目前登记用于小麦茎基腐病的防治药剂较为鲜见,只登记了33%咯菌腈·噻虫胺悬浮种衣剂和40%丙硫菌唑·戊唑醇悬浮剂用于防治小麦茎基腐病,已不能满足病害防控的实际需求^[18]。因此,试验筛选高效药剂并推动尽早登记就显得尤为重要。事实上,小麦根腐病和小麦茎基腐病的病原菌均为真菌,后者主要为假禾谷镰刀菌,禾谷镰刀菌也可引起茎基腐病;小麦根腐病病原菌复杂,有镰刀菌(包括禾谷镰刀菌),也有麦根腐平脐蠕孢菌(*Bipolaris sorokiniana*),除引起根腐外,还受害麦株其他部位,引起苗腐、茎基腐、成株叶枯和穗腐等,与小麦茎基腐病菌引起的症状有些重叠。因此,登记防治小麦根腐病的这些药剂拌种对小麦茎基腐病也有防治作用。通过查询中国农药信息网可知,

登记防治小麦根腐病的药剂均为化学药剂,杀菌剂单剂有咯菌腈、丙环唑;杀菌剂混剂包括多菌灵·福美双、咯菌腈·噻霉酮、戊唑醇·福美双;杀菌、杀虫剂混剂有苯醚甲环唑·咯菌腈·噻虫嗪、咯菌腈·噻虫胺、噻虫嗪·咯菌腈·甲霜灵、啮菌酯·咪鲜胺铜盐·噻虫嗪、噻虫嗪·咪鲜胺。防治方法均为拌种。此外,有大量研究报道了一些化学药剂和生物药剂也能有效防治小麦茎基腐病。

基于此,本文从化学农药和生物农药两方面对小麦茎基腐病的农药防治进展进行综述,以期为我国小麦茎基腐病的农药防治提供借鉴,以利于企业扩大防治小麦茎基腐病药剂的登记范围,满足生产上合法合规使用农药,从而实现精准用药和高效用药。

1 化学农药防治技术

化学农药具有高效、广谱、成本可控等诸多优势,现阶段农业生产中首选使用化学农药防治小麦茎基腐病。目前,针对小麦茎基腐病的化学农药防治技术主要涉及种子处理和返青拔节期喷洒施药2个方面。

1.1 种子处理

小麦茎基腐病是一种由假禾谷镰刀菌(*Fusarium pseudograminearum*)、禾谷镰刀菌(*Fusarium graminearum*)等真菌引起的土传病害,可随种子调运而传播蔓延。因此,播种前对小麦种子进行药剂消毒处理是防控苗期茎基腐病最有效和简便经济的重要措施^[19]。种子处理剂是一大类可通过浸种、拌种或包衣等方式对种子进行药剂消毒处理的农药剂型,其有效成分主要包括杀菌剂和杀虫剂,有的产品还含有植物生长调节剂等活性成分。其具有防治作物苗期病虫害、提高种子发芽率和幼苗成活率、促进作物健康生长等作用,尤其在土传病害和地下害虫发生地区,种子处理剂的防效和增产效果表现更为突出^[20]。王珊珊^[21]通过田间试验发现,使用25%氰烯菌酯悬浮剂(6.67 mL/kg)、30%丙硫菌唑悬浮剂(0.14 mL/kg)、6%戊唑醇悬浮种衣剂(0.7 mL/kg)进行拌种处理,对小麦成株期茎基腐病的防治效果分别为73.2%、38.4%和45.3%。殷消茹等^[22]通过温室试验发现,使用50%多菌灵可湿性粉剂(3.9 g/kg)进行拌种,处理21 d后对小麦茎基腐病的防治效果可达76.7%。徐飞等^[23]开展的田间试验发现,使用25 g/L咯菌腈悬浮种衣剂(2 mL/kg)和25%氰烯菌酯悬浮剂(5 mL/kg)进行种子包衣处理,对小麦灌浆期茎基

腐病的防治效果分别为23.3%和30.8%。

播种前对小麦种子进行拌种或包衣处理,虽然可以降低小麦在播种后到返青拔节期被病原菌感染发病的风险,但是在植株生长中后期难免出现药效不足的状况。Hou等^[24]开展的田间试验表明,使用18%吡唑醚菌酯悬浮种衣剂进行拌种处理,对小麦拔节期茎基腐病的防治效果为70.8%,而对灌浆期茎基腐病的防治效果下降到53.1%;使用50%多菌灵可湿性粉剂进行拌种处理,对小麦拔节期茎基腐病的防治效果为50.0%,对灌浆期的防治效果只有13.7%。张鹏等^[25]开展的田间试验表明:使用25%嘧菌酯悬浮种衣剂进行拌种处理,对小麦拔节期茎基腐病的防治效果为49.9%,对灌浆期的防治效果仅有9.6%;用15%三唑酮可湿性粉剂进行拌种处理,小麦拔节期的防治效果为22.0%,灌浆期的防治效果下降到6.3%。李娜等^[26]进行的田间试验表明:使用27%苯醚甲环唑·咯菌腈·噻虫嗪悬浮种衣剂进行种子包衣处理,对小麦拔节期茎基腐病的防治效果为77.7%,而灌浆期的防治效果降至56.1%;使用30 g/L苯醚甲环唑悬浮种衣剂进行种子包衣处理,小麦拔节期的防治效果为51.8%,灌浆期的防治效果降到44.0%;使用32%戊唑醇·吡虫啉种子处理悬浮剂进行种子包衣处理,小麦拔节期的防治效果有61.2%,灌浆期的防治效果降为44.2%。

1.2 种子处理结合返青拔节期喷洒施药

返青期是控制小麦茎基腐病春季发生危害的重要时期。采用种子处理结合返青拔节期喷洒药剂,有利于延长药剂的持效期,提高对小麦生长中后期茎基腐病的防控效果。徐飞等^[23]研究表明,采用

30 g/L苯醚甲环唑悬浮种衣剂拌种处理,并结合返青拔节期喷洒30%多菌灵·三唑酮悬浮剂,对小麦灌浆期茎基腐病的防治效果为24.1%,而单独拌种处理或单独喷药处理的防治效果均不到7.0%。侯明苓^[27]研究发现,使用60 g/L戊唑醇悬浮种衣剂进行拌种处理,结合返青拔节期喷施75%肟菌酯·戊唑醇水分散粒剂,对小麦灌浆中期的防治效果为69.9%,比单独拌种处理的防效提高了19.3%;使用48%苯醚甲环唑·咯菌腈悬浮种衣剂进行拌种处理,结合返青拔节期喷施75%肟菌酯·戊唑醇水分散粒剂,对小麦灌浆中期的防治效果为68.7%,比单独拌种处理的防治效果提高了20.5%。李海萍等^[28]研究发现,采用27%苯醚甲环唑·咯菌腈·噻虫嗪悬浮种衣剂进行种子包衣处理,结合返青期喷施25%氰烯菌酯悬浮剂,对小麦乳熟期茎基腐病的防治效果为82.7%,比单独拌种处理的防治效果提高了19.7%。

2 生物农药防治技术

小麦茎基腐病的病原菌组成与玉米茎基腐病、小麦赤霉病和小麦根腐病等病害的病原菌组成相似(如表1所示),因此适用的化学农药也类似^[29-32]。此外,我国黄淮海地区普遍采用小麦玉米两熟轮作栽培制度。在此背景下,长期使用单一类别化学农药,不仅容易引起农田环境中农药残留超标,导致小麦品质下降,且危害生态环境,还容易引起病原菌产生抗性^[33]。因此,选择生物农药进行防治,降低污染,促进生长,对实现小麦绿色、可持续生产具有重要意义^[34]。目前,用于小麦茎基腐病的生物农药以微生物农药、植物源杀菌剂、植物免疫诱抗剂为主。

表 1 4 种病害的病原菌组成情况

病原菌	小麦茎基腐病	玉米茎基腐病	小麦赤霉病	小麦根腐病
禾谷镰刀菌(<i>Fusarium graminearum</i>)	√	√	√	√
假禾谷镰刀菌(<i>Fusarium pseudograminearum</i>)	√			
尖孢镰刀菌(<i>Fusarium oxysporum</i>)	√		√	√
黄色镰刀菌(<i>Fusarium culmorum</i>)	√	√	√	√
木贼镰刀菌(<i>Fusarium equiseti</i>)	√		√	
层出镰刀菌(<i>Fusarium proliferatum</i>)	√	√		√
厚垣镰刀菌(<i>Fusarium chlamydosporum</i>)	√			
燕麦镰刀菌(<i>Fusarium avenaceum</i>)	√		√	√
腐皮镰刀菌(<i>Fusarium solani</i>)	√	√		
亚洲镰刀菌(<i>Fusarium asiaticum</i>)	√		√	
锐顶镰刀菌(<i>Fusarium acuminatum</i>)	√		√	
麦根腐平脐蠕孢菌(<i>Bipolaris sorokiniana</i>)	√			√
雪腐小座孢(<i>Microdochium nivale</i>)	√		√	
串珠镰刀菌(<i>Fusarium moniliforme</i>)		√	√	√

(续表 1)

病原菌	小麦茎基腐病	玉米茎基腐病	小麦赤霉病	小麦根腐病
三隔镰刀菌(<i>Fusarium tricinctum</i>)			√	
梨孢镰刀菌(<i>Fusarium poae</i>)			√	
砖红镰刀菌(<i>Fusarium lateritium</i>)			√	
欧文氏菌(<i>Erwinia</i>)		√		
拟轮枝镰刀菌(<i>Fusarium verticillioides</i>)		√		
肿囊腐霉菌(<i>Pythium inflatum</i>)		√		
禾生腐霉菌(<i>Pythium graminicola</i>)		√		
同色镰刀菌(<i>Fusarium concolor</i>)		√		

2.1 微生物农药

目前,用于小麦茎基腐病防治的微生物农药以芽孢杆菌(*Bacillus*)和木霉菌(*Trichoderma*)为主。此外,洋葱伯克氏菌(*Burkholderia cepacia*)、球毛壳菌(*Chaetomium*)、链霉菌(*Streptomyces*)和丛枝菌根真菌(*Arbuscular mycorrhiza*)等微生物农药也被应用于小麦茎基腐病的防治^[35-39]。

2.1.1 芽孢杆菌

芽孢杆菌防治植物病害的主要机制包括产生抑制性化学物质、诱导寄主植物产生系统抗性以及竞争生态位和养分等^[40]。Shen等^[41]研究发现,耐盐芽孢杆菌QTH8可以产生以伊枯草菌素、表面活性素和丰原素为主的抗菌肽,具有抑制假禾谷镰刀菌菌丝生长的作用。盆栽试验结果证明,采用耐盐芽孢杆菌QTH8培养液处理小麦种子,21 d后茎基腐病的病级指数比对照组降低了20.0%左右。Xu等^[42]研究发现,枯草芽孢杆菌YB-15具有诱导小麦幼苗提高抗性酶活和促生作用。采用枯草芽孢杆菌YB-15悬浮液进行小麦浸种处理,20 d后对茎基腐病的防治效果为81.5%,根和茎的鲜重分别增加了11.4%和4.2%。Taheri等^[43]研究表明,枯草芽孢杆菌CB2可以通过产生蛋白酶、淀粉酶、果胶酶、纤维素酶、吲哚乙酸、氨、过氧化氢酶、ACC脱氨酶及分泌抑制性化学物质,显著抑制种子表面禾谷镰刀菌菌丝的生长,使得种子中脱氧雪腐镰刀菌烯醇毒素质量分数下降37.7%,35 d后对小麦茎基腐病的防治效果为80.3%。

2.1.2 木霉菌

木霉菌也是常用的微生物农药之一,主要通过诱导植物产生抗性酶和重寄生发挥拮抗作用^[44-47]。Kthiri等^[48]研究表明,哈茨木霉S.INAT菌株可以诱导植物产生过氧化物酶和酚类物质,快速清除活性氧,提高植株抗病性。盆栽试验结果显示,使用哈茨木霉S.INAT菌株的菌液进行种子包衣处理,10 d和

20 d后对小麦茎基腐病的防治效果分别为53.6%和49.7%。Makhlouf等^[49]研究表明,盖姆斯木霉(*Trichoderma gamsii*) MK361138菌株可以产生几丁质酶、蛋白酶和磷酸酶,通过水解真菌细胞壁达到抗菌作用。盆栽试验结果表明,使用盖姆斯木霉MK361138菌株的菌液进行种子浸泡处理,30 d后对假禾谷镰刀菌、禾谷镰刀菌和木贼镰刀菌(*Fusarium equiseti*)引起的茎基腐病的防治效果分别为48.4%、48.6%和77.4%。Dendouga等^[50]研究发现,哈茨木霉Thr.4菌株同样可以通过提高水解真菌细胞壁的酶活,以及对真菌重寄生,从而获得真菌拮抗作用。盆栽试验结果表明,使用哈茨木霉Thr.4菌株的分生孢子悬浮液浸泡种子,30 d后对黄色镰刀菌(*Fusarium culmorum*)、禾谷镰刀菌和拟轮枝镰刀菌(*Fusarium verticillioides*)引起的茎基腐病的防治效果分别达到89.8%、84.0%和89.6%。

2.1.3 其他微生物农药

Feng等^[51]通过平板对峙试验发现,球毛壳菌12XP1-2-3对假禾谷镰刀菌抑制率为65.9%。盆栽试验结果表明,使用球毛壳菌12XP1-2-3孢子悬浮液、4%无菌羧甲基纤维素钠水溶液,按体积比3:1混合拌种处理,35 d后对小麦茎基腐病的防治效果为37.3%;RT-qPCR检测发现,小麦茎基部中抗菌防御基因、代谢基因、活性氧防御基因、茉莉酸信号通路基因以及其他功能相关的基因表达均显著提高。Makhlouf等^[49]研究表明,偶氮假单胞菌(*Pseudomonas azotoformans*) P58菌株可以产生铁载体、氢氰酸、植物激素和吲哚乙酸,从而具有抗菌能力。平板对峙试验结果表明,偶氮假单胞菌P58菌株对假禾谷镰刀菌、禾谷镰刀菌和木贼镰刀菌的抑制率分别为68.7%、69.0%和72.3%;盆栽试验结果表明,使用偶氮假单胞菌P58菌株悬浮液(108 CFU/mL)进行浸种处理,30 d后对假禾谷镰刀菌、禾谷镰刀菌和木贼

镰刀菌引起的茎基腐病的防治效果分别为63.1%、57.9%和64.5%。

2.2 植物源杀菌剂

植物源杀菌剂是指从植物中提取的次生代谢产物加工形成的杀菌剂,具有环境相容性好、生物活性多样、对非靶标生物危害小、不易产生耐药性等特点^[52]。苦参碱、蛇床子素、丁子香酚、乙蒜素、大黄素甲醚、低聚糖素、小檗碱等多种植物源杀菌剂已经在黄瓜霜霉病(*Pseudoperonospora cubensis*)、水稻纹枯病(*Xanthomonas oryzae* pv. *Oryzae*)、黄瓜白粉病(*Sphaerotheca fuliginea*)等病害防治中推广应用^[53]。这为小麦茎基腐病的生物农药防治技术提供了新的思路和途径。周锋等^[54]发现,植物提取物薄荷酮、香芹酚对假禾谷镰刀菌具有较好的抑菌活性。盆栽试验结果显示,分别使用香芹酚(52.65 g/L)和薄荷酮(241.68 g/L)浸泡种子,15 d后对小麦茎基腐病的防治效果均为82.6%。韩坤^[55]研究发现,四乙基苯酚对禾谷镰刀菌也具有一定的抑制作用,混合使用四乙基苯酚和70%吡虫啉可分散粉剂进行拌种处理,38 d后对小麦茎基腐病的防治效果为81.6%,且促进了小麦植株的生长以及抗寒基因的表达,有助于提高小麦产量。

2.3 植物免疫诱抗剂

植物免疫诱抗剂也被称为植物疫苗,可以诱导植物产生免疫反应,从而提高植物对病原菌的抗病性。由于其直接作用于植物本身,因此防治范围较广,且不易产生抗药性^[56]。植物免疫诱抗剂主要包括寡糖类、蛋白多肽类、有机酸类和无机化合物等,可与一般杀菌剂混用,达到减施增效的目的^[57]。张婷婷等^[58]研究发现,在小麦拔节期喷施维大力(VDAL, 0.4%大丽轮枝孢*Verticillium dahliae*激活蛋白)、艾丽颖壮(YILED STRONG, 64.5%天然硅、11.2%天然钾)和30%脲菌酯·戊唑醇悬浮剂混合药液,并在抽穗扬花期补喷维大力、艾丽颖壮、40%丙硫菌唑·戊唑醇悬浮剂和22%噻虫嗪·高效氯氟氰菊酯悬浮剂,对小麦乳熟期茎基腐病的防治效果达到71.4%。孙航军等^[59]将磷脂酸水溶液首先喷洒在小麦胚芽鞘上,再接种假禾谷镰刀菌,5 d后发现抗病基因HMGR2和WRKY8的表达量明显上调,小麦叶片上病斑长度显著降低。

3 展望

近年来,我国小麦茎基腐病呈现出愈来愈严重的态势,已经严重威胁到我国小麦的安全生产。

2022年,中国科学技术协会将小麦茎基腐病列为我国十个重大产业技术问题之一。因此,对于小麦茎基腐病的高效防控迫在眉睫,未来需要结合农业防治、化学防治、生物防治多种技术,多措并举、综合防控。对此提出以下几点展望:

(1) 加快高抗品种的选育及栽培技术的科学管理。播前,针对秸秆还田的土地施用有机腐熟剂,并适度深耕,切断病原菌累积途径;播种时,根据区域选择合适的抗性品种并采用有效药剂对种子进行消毒处理,杜绝“白籽下地”;播种后,进行科学水肥管理,适度增加磷、钾肥和锌肥,避免过量偏施氮肥,同时增加返青拔节期的喷洒用药。

(2) 加强监测预警技术的研究。小麦茎基腐病可防难治,需要做好预警,及时防控。小麦感病后水分吸收减少,蒸腾作用减弱,叶片的颜色、含水量和组织形态均会发生变化,因此,可以利用热成像技术、多光谱成像技术、高光谱成像技术对植株进行监测,建立病害监测预警体系,并提高监测方法的普适性、分辨率和灵敏度,使其适应不利环境对监测结果的负面影响,实现“早预警,早防控”。

(3) 加大缓控释农药制剂的开发力度。小麦茎基腐病发病周期长,传统农药制剂产品的持效期往往达不到小麦全生育期(约250 d)的防控需求,需要多次施药,然而后期施药又难以到达小麦茎基部。因此,利用缓控释农药制剂持续释放、持效期长的特点,开发长效农药制剂,有利于保障小麦生育后期的防治效果、减少施药次数、节省人力物力。

(4) 重视杀菌剂与杀虫剂、化肥或植物生长调节剂等的结合使用。小麦茎基腐病发生区域通常伴随着纹枯病、根腐病、全蚀病、黑穗病、孢囊线虫病等土传、种传病害和苗期地下害虫、蚜虫、条锈病、白粉病的防治需求。因此,根据各小麦种植区病虫害发生情况,确定重点防控对象,选好有效药剂,推广杀菌剂与杀虫剂、化肥或植物生长调节剂等的综合使用,有利于实现对病害的有效防控。

(5) 加强专用型施药装备的研发。目前,“一翻一拌一喷”是防治小麦茎基腐病的有效综合措施,即每隔2~3年对麦地深翻灭茬、播种前对种子拌种处理、返青拔节期对小麦喷施农药。其中,在小麦返青拔节期通过人力背负式喷雾器、自走式喷杆喷雾机或者植保无人机等常规施药装备喷洒药液容易被叶片阻挡,喷雾很难到达茎基部,药剂防治效果不佳。因此,未来研发适用于茎基部的专用施药设备及使用技术,有助于为有效药剂的高效化利用提

供装备保障。

参考文献

- [1] KAZAN K, GARDINER D M. *Fusarium* crown rot caused by *Fusarium pseudograminearum* in cereal crops: recent progress and future prospects[J]. *Mol Plant Pathol*, 2018, 19(7): 1547-1562.
- [2] HAGERTY C H, IRVINE T, RIVEDAL H M, et al. Diagnostic guide: *Fusarium* crown rot of winter wheat[J]. *Plant Hlth Prog*, 2021, 22(2): 176-181.
- [3] 张素玮, 王艳玲, 薛华丽, 等. 镰刀菌单端孢霉烯族毒素的生物合成及分子调控研究进展[J]. *食品科学*, 2019, 40(5): 267-275.
- [4] THOMPSON W L, WANNEMACHER R W. Structure-function relationships of 12,13-epoxytrichothecene mycotoxins in cell culture: comparison to whole animal lethality[J]. *Toxicon*, 1986, 24(10): 985-994.
- [5] SHIFRIN V I, ANDERSON P. *Trichothecene* mycotoxins trigger a ribotoxic stress response that activates c-Jun N-terminal kinase and p38 mitogen-activated protein kinase and induces apoptosis*[J]. *J Biol Chem*, 1999, 274(20): 13985-13992.
- [6] BIN-UMER M A, MCLAUGHLIN J E, BASU D, et al. *Trichothecene* mycotoxins inhibit mitochondrial translation-implication for the mechanism of toxicity[J]. *Toxins*, 2011, 3(12): 1484-1501.
- [7] LI J, WANG Y, DENG Y, et al. Toxic mechanisms of the trichothecenes T-2 toxin and deoxynivalenol on protein synthesis[J]. *Food Chem Toxicol*, 2022, 164: 113044.
- [8] WANNEMACHER R W, WIENER S L, SIDELL F R, et al. *Trichothecene* mycotoxins[J]. *Med Aspects Chem Biol Warfare*, 1997, 6: 655-676.
- [9] MAGEE C J. News from new south wales[J]. *Commonw Phytopathological News*, 1957, 3: 26.
- [10] LI H L, YUAN H X, FU B, et al. First report of *Fusarium pseudograminearum* causing crown rot of wheat in Henan, China[J]. *Plant Dis*, 2012, 96(7): 1065-1068.
- [11] 赵利民, 冯超红, 蒋向, 等. 小麦茎基腐病防治技术研究进展[J]. *中国植保导刊*, 2022, 42(11): 22-27.
- [12] 赵利民, 吕国强, 何洋, 等. 河南省小麦茎基腐病发生现状及综合防控措施[J]. *中国植保导刊*, 2022, 42(5): 49-51.
- [13] 李佩玲, 王同伟, 朱军生, 等. 近年山东省小麦茎基腐病发生特点及原因分析[J]. *中国植保导刊*, 2022, 42(7): 44-45; 81.
- [14] 张丽萍, 寇奎军, 刘震, 等. 沧州市小麦茎基腐病的发生特点及防控策略[J]. *农业与技术*, 2020, 40(12): 74-75.
- [15] 中华人民共和国农业农村部. 2023年全国小麦重大病虫害发生趋势预报[EB/OL]. (2023-01-11) [2023-11-20]. https://www.moa.gov.cn/ztl/2023cg/jszd_29356/202302/t20230209_6420226.htm.
- [16] 马璐璐, 闫翠梅, 冯彩莲, 等. 玉米秸秆还田对假禾谷镰刀菌及小麦茎基腐病化感效应的模拟研究[J]. *河北农业大学学报*, 2019, 42(3): 38-44.
- [17] TILLMANN M, VON TIEDEMANN A, WINTER M. Crop rotation effects on incidence and diversity of *Fusarium* species colonizing stem bases and grains of winter wheat[J]. *J Plant Dis Protect*, 2017, 124(2): 121-130.
- [18] 农业农村部农药检定所. 中国农药信息网[DB/OL]. [2023-11-20]. <http://www.icama.org.cn/hysj/index.jhtml>.
- [19] SIMPFENDORFER S, TAMWORTH N. *Fusarium* crown rot seed fungicides: independent field evaluation 2018-2020[J]. *Grains Res Update*, 2021, 66: 12639.
- [20] 刘西莉. 中国种子处理技术的发展现状和展望[J]. *中国农药*, 2019(10): 84-89.
- [21] 王珊珊. 三种杀菌剂对黄淮麦区小麦茎基腐病菌室内毒力及田间防效测定[D]. 河北张家口: 河北北方学院, 2021.
- [22] 殷消茹, 徐建强, 孙莹, 等. 河南省假禾谷镰刀菌对多菌灵的敏感性[J]. *农药学报*, 2022, 24(1): 81-87.
- [23] 徐飞, 韩自行, 宋玉立, 等. 几种杀菌剂对小麦茎基腐病的防治效果[J]. *植物保护*, 2022, 48(2): 296-302.
- [24] HOU Y, CHEN Y, WANG L, et al. Impact of pyraclostrobin on the growth of *Fusarium pseudograminearum* and its control efficacy against wheat crown rot in Henan Province, China[J]. *J Plant Pathol*, 2023: 1-12.
- [25] 张鹏, 邓渊钰, 杨学明, 等. 小麦茎基腐病菌鉴定及不同药剂防治效果分析[J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(11): 142-144.
- [26] 李娜, 李爱科, 刘云虹, 等. 不同拌种剂对小麦茎基腐病的防效试验[J]. *现代化农业*, 2023(4): 14-16.
- [27] 侯明琴. 5种药剂防治小麦茎基腐病田间试验[J]. *特种经济动植物*, 2023, 26(9): 41-42; 47.
- [28] 李海萍, 滕芳超, 刘亚利, 等. 拌种及茎叶喷雾防治小麦茎基腐病[J]. *湖北植保*, 2023(5): 40-42.
- [29] CHAKRABORTY S, LIU C J, MITTER V, et al. Pathogen population structure and epidemiology are keys to wheat crown rot and *Fusarium* head blight management[J]. *Australasian Plant Pathology*, 2006, 35: 643-655.
- [30] OOELLO P N, PETROVIC K, KONTZ B, et al. Eight species of *Fusarium* cause root rot of corn (*Zea mays*) in South Dakota[J]. *Plant Health Progress*, 2019, 20(1): 38-43.
- [31] STEPIEN L, CHELKOWSKI J. *Fusarium* head blight of wheat: pathogenic species and their mycotoxins[J]. *World Mycotoxin Journal*, 2010, 3(2): 107-119.
- [32] SCHERM B, BALMAS V, SPANU F, et al. *Fusarium culmorum*: causal agent of foot and root rot and head blight on wheat[J]. *Molecular Plant Pathology*, 2013, 14(4): 323-341.
- [33] 江航, 祁凯, 马立国, 等. 小麦茎基腐病原假禾谷镰刀菌与赤霉病之间的关系[J]. *麦类作物学报*, 2022, 42(11): 1429-1437.
- [34] THAKORE Y. The biopesticide market for global agricultural use[J]. *J Ind Microbiol Biot*, 2006, 2(3): 194-208.
- [35] HUANG Y, WONG P T W. Effect of *Burkholderia* (*Pseudomonas*) cepacia and soil type on the control of crown rot in wheat[J]. *Plant Soil*, 1998, 203: 103-108.

- [36] O'SULLIVAN C A, ROPER M M, MYERS C A, et al. Developing actinobacterial endophytes as biocontrol products for *Fusarium pseudograminearum* in wheat[J]. Front Bioeng Biotech, 2021, 9: 691770.
- [37] SPAGNOLETTI F N, CARMONA M, BALESTRASSE K, et al. The Arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus intraradices* reduces the root rot caused by *Fusarium pseudograminearum* in wheat[J]. Rhizosphere-Neth, 2021, 19: 100369.
- [38] FENG C, XU F, LI L, et al. Biological control of Fusarium crown rot of wheat with *Chaetomium globosum* 12XP1-2-3 and its effects on rhizosphere microorganisms[J]. Front Microbiol, 2023, 14: 1133025.
- [39] 李怡文, 李桂香, 黄中乔, 等. 假禾谷镰孢引起的小麦茎基腐病发生危害与防控研究进展[J]. 农药学学报, 2022, 24(5): 949-961.
- [40] CAWOY H, BETTIOL W, FICKERS P, et al. *Bacillus*-based biological control of plant diseases[J]. InTech, 2011(11): 273-302.
- [41] SHEN L, XU J Q, FU L M, et al. Biocontrol of wheat crown rot using *Bacillus halotolerans* QTH8[J]. Pathogens, 2022, 11(5): 595.
- [42] XU W, YANG Q, XIE X, et al. Genomic and phenotypic insights into the potential of *Bacillus subtilis* YB-15 isolated from rhizosphere to biocontrol against crown rot and promote growth of wheat[J]. Biology, 2022, 11(5): 778-783.
- [43] TAHERI E, TARIGHI S, TAHERI P. An endophytic bacterium with biocontrol activity against important wheat pathogens[J]. Biol Control, 2023, 183: 105243.
- [44] STUMMER B E, ZHANG X, YANG H, et al. Co-inoculation of *Trichoderma gamsii* ASMH and *Trichoderma harzianum* Tr906 in wheat suppresses in planta abundance of the crown rot pathogen *Fusarium pseudograminearum* and impacts the rhizosphere soil fungal microbiome[J]. Biol Control, 2022, 165: 104809.
- [45] SIVAN A, ELAD Y, CHET I. Biological control effects of a new isolate of *Trichoderma harzianum* on *Pythium aphanidermatum* [J]. Phytopathology, 1984, 74(4): 498-501.
- [46] ADAMS P B. The potential of mycoparasites for biological control of plant diseases[J]. Annu Rev Phytopathol, 1990, 28(1): 59-72.
- [47] LORITO M, DI PIETRO A, HAYES C K, et al. Antifungal, synergistic interaction between chitinolytic enzymes from *Trichoderma harzianum* and *Enterobacter cloacae*[J]. Phytopathology, 1993, 83(7): 721-728.
- [48] KTHIRI Z, JABEUR M B, MACHRAOUI M, et al. Coating seeds with *Trichoderma* strains promotes plant growth and enhance the systemic resistance against Fusarium crown rot in durum wheat[J]. Egypt J Biol Pest Co, 2020, 30(1): 139.
- [49] MAKHLOUF K E, BOUNGAB K, MOKRANI S. Synergistic effect of *Pseudomonas azotoformans* and *Trichoderma gamsii* in management of Fusarium crown rot of wheat[J]. Arch Phytopath Plant, 2023, 56(2): 108-126.
- [50] DENDOUGA W, BOUREGHDA H, BELHAMRA M. Biocontrol of wheat Fusarium crown and root rot by *Trichoderma* spp. and evaluation of their cell wall degrading enzymes activities[J]. Acta Phytopathol Entomol Hung, 2016, 51(1): 1-12.
- [51] FENG C, XU F, LI L, et al. Biological control of Fusarium crown rot of wheat with *Chaetomium globosum* 12XP1-2-3 and its effects on rhizosphere microorganisms[J]. Front Microbiol, 2023, 14: 1133025.
- [52] BHANDARI S, YADAV P K, SARHAN A. Botanical fungicides; current status, fungicidal properties and challenges for wide scale adoption: a review[J]. Rev Food Agric, 2021, 2: 63-68.
- [53] YOON M Y, CHA B, KIM J C. Recent trends in studies on botanical fungicides in agriculture[J]. Plant Pathol J, 2013, 29(1): 1-9.
- [54] 周锋, 罗奥迪, 韩奥辉, 等. 8种植物源杀菌剂对假禾谷镰刀菌的抑菌活性及对小麦茎基腐病的防效探究[J]. 麦类作物学报, 2023, 43(12): 1629-1635.
- [55] 韩坤. 植物源抗病代谢物用于小麦病害防治的实践应用[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2023.
- [56] 刘艳楠, 祝一鸣, 周而勋. 植物免疫诱抗剂的作用机理和应用研究进展[J]. 分子植物育种, 2020, 18(3): 1020-1026.
- [57] 邱德文. 我国植物免疫诱导技术的研究现状与趋势分析[J]. 植物保护, 2016, 42(5): 10-14.
- [58] 张婷婷, 李朔可, 沈旦军, 等. 植物免疫诱抗剂“维大力”在小麦生产上的应用效果初探[J]. 乡村科技, 2023, 14(1): 80-83.
- [59] 孙航军, 孙炳剑, 李洪连. 磷脂酸在制备防治农作物病害制剂中的应用: ZL, 202310510395.9[P]. 2023-08-01.

(编辑: 顾林玲)

基于异噁唑虫酰胺的杀虫剂 FRONDEO®将在巴西上市

巴西国家供应公司(Conab)最新数据显示,2024—2025年度巴西甘蔗产量预计将突破6.85亿吨。巴西是全球最大甘蔗生产国,然而,巴西甘蔗种植户正面临甘蔗螟虫(*Diatraea saccharalis*)等病虫害的严峻挑战。

在此背景下,先正达将在巴西推出FRONDEO®,这是一款基于异噁唑虫酰胺(PLINAZOLIN®)的产品,用于防治甘蔗螟虫。FRONDEO®高效,持效期长,耐雨水冲刷,并且在光照下能保持稳定,因此,可以延长喷施间隔时间,减少用药次数。FRONDEO®与生物制剂兼容,施用方式多样,飞防和土壤施用均可。

先正达强调,采用有效防控虫害并降低害虫对现有杀虫剂产生抗性风险的新技术至关重要。FRONDEO®与其他作用机理的杀虫剂无交互抗性,它的推出为巴西甘蔗种植提供了快速、准确应对甘蔗螟虫工具,有助于提高甘蔗产量和品质。

(来源:先正达、世界农化网等)