

张建周, 李春盈, 王凤涛, 等. 种衣剂防治小麦茎基腐病效果的评价[J]. 沈阳农业大学学报, 2024, 55(2): 187-194.

ZHANG Jianzhou, LI Chunying, WANG Fengtao, et al. Functional evaluation of seed coating agents used for controlling wheat crown rot[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2024, 55(2): 187-194.

种衣剂防治小麦茎基腐病效果的评价

张建周¹, 李春盈¹, 王凤涛², 刘明¹, 张天兴¹, 崔明珠³, 齐建双⁴

(1. 河南省农业科学院小麦研究所/河南省小麦生物学重点实验室, 郑州 450002; 2. 中国农业科学院植物保护研究所/植物病虫害综合治理全国重点实验室, 北京 100193; 3. 沈阳农业大学图书馆, 沈阳 110161; 4. 河南省农业科学院粮食作物研究所, 郑州 450002)

摘要: 茎基腐病已成为黄淮小麦主产区最具破坏性的土传病害之一, 对我国粮食安全供给构成严重威胁。目前抗茎基腐病主栽品种稀少, 生产上主要依赖于化学农药措施。药剂拌种可以有效防治茎基腐病。综合评价现有的种衣剂对小麦茎基腐病的防治及增产效果, 以为合理用药提供依据。采取高感茎基腐病小麦品种郑麦 1354 为研究对象, 播种前种子包衣晾干, 利用高致病力茎基腐病菌株 PY20-20 培养小米菌谷, 连续 2 个小麦生长季利用进行人工接种病圃, 包衣种子和接种菌谷等重量混合播种, 分别于小麦拔节期和乳熟期记载处理小区植株发病情况, 调查 9 种种衣剂处理后不同生育期的病情指数(disease index, DI), 成熟收获后测定小区实际产量, 结合小麦产量相关性状, 比较种衣剂防病增产作用。结果表明: 种衣剂处理后拔节期茎基腐病 DI 值均小于 1.0, 显著小于空白对照(5.07), 防治效果为 85.09%~100%, 其中 33 g·L⁻¹咯菌·噻虫胺、9% 苯甲·吡虫啉和 35 g·L⁻¹精甲霜灵·咯菌腈的防效达到 97%~100%。在乳熟期, 种衣剂处理后茎基腐病 DI 平均值低于 15, 显著小于空白对照(81.55), 其中 35 g·L⁻¹精甲霜灵·咯菌腈和 9% 苯甲·吡虫啉防效较好, 平均防效分别达到 92% 和 95%, 而且分别增产 39.62% 和 36.31%。综合而言, 采用种衣剂 35 g·L⁻¹精甲霜灵·咯菌腈和 9% 苯甲·吡虫啉防治小麦茎基腐病效果好且增产效果显著, 具有较好的应用前景。

关键词: 小麦; 茎基腐病; 种衣剂; 病情指数; 产量相关性状

中图分类号: S435.121.4

文章编号: 1000-1700(2024)02-0187-08

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Functional Evaluation of Seed Coating Agents Used for Controlling Wheat *Fusarium* Crown Rot

ZHANG Jianzhou¹, LI Chunying¹, WANG Fengtao², LIU Ming¹,
ZHANG Tianxing¹, CUI Mingzhu³, QI Jianshuang⁴

(1. Wheat Research Institute/Henan Key Laboratory for Wheat Biology, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China; 2. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests/Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 3. Library of Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China; 4. Cereal Crops Research Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: *Fusarium* crown rot has been becoming a most destructive soil-borne disease across main producing areas of wheat in Huang-Huai Plain, severely threatening security supply of food grain in China. Resistant varieties to *Fusarium* crown rot are now rarely available, and the disease control is mainly by applying chemical pesticide. Seed coating is an effective method for *Fusarium* crown rot. The seed coating agents available for wheat *Fusarium* crown rot were comprehensively

收稿日期: 2023-12-19

基金项目: 河南省农业科学院自主创新项目(2022ZC03); 农业农村部政府购买服务项目(19211095)

第一作者: 张建周(1974-), 男, 硕士, 副研究员, 从事小麦抗病育种与新品种推广示范研究, E-mail: zhangjianzhou00@163.com

通信作者: 齐建双(1979-), 女, 硕士, 副研究员, 从事品种评价与利用研究, E-mail: qijianshuang@126.com

evaluated for their disease control effectiveness and yield incensement, laying a basis for reasonable deployment of chemical pesticides. A highly susceptible Zhengmai 1354 to *Fusarium* crown rot was selected as the wheat variety tested in this study. The seeds were coated with coating agents and dried before planting. The pathogen inocula were prepared with a highly virulent strain PY20-20 of *Fusarium pseudograminearum* on millet grain medium. During two consecutive growth seasons, artificial inoculation was conducted by mixing equal amount of treated seeds and inocula together and sowing in a field nursery. The disease progress of wheat plants at each testing plot was rated and recorded at jointing and milking stages, respectively. The disease index (DI) of treatments with nine coating agents at different wheat growth stages was scored. After being harvested, grain yield of each plot was assessed. Their effects on *Fusarium* crown rot control and yield increase were evaluated along with wheat yield related traits considered. The results showed that DI values of *Fusarium* crown rot were all less than 1.0 after treatments at jointing stage, being significantly lower than the monk DI value of 5.07. In the agents tested, the control effects of fludioxonil·clothianidin ($33 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$), difenoconazole·imidacloprid (9%), and metalaxyl-m·fludioxonil ($35 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) ranged from 97% to 100%. At milk stage, all crown rot DI values of seed coating agent treatments were less than 15, being significantly lower than the DI value of 81.55. The control effects of metalaxyl-m·fludioxonil ($35 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) and difenoconazole·imidacloprid (9%) were averagely higher than 92% and 95% with yield increases of 39% and 36%, respectively. Overall, use of metalaxyl-m·fludioxonil ($35 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) and difenoconazole·imidacloprid (9%) will be more effective for *Fusarium* crown rot control than others, with a better prospect for disease control.

Key words: wheat; *Fusarium* crown rot; seed coating agent; disease index; yield related trait

小麦是我国三大主粮之一。中国小麦种植面积为2 185万~3 000万 hm^2 。高产稳产对保障我国主粮安全供给具有重要战略意义。河南位于全国粮食作物核心种植生态区,小麦种植面积年均500万 hm^2 以上,约占全国小麦种植总面积22%^[1-2]。目前,河南麦区主要采用冬小麦-夏玉米轮作栽培模式。全面推行作物收获后秸秆还田政策,同时免耕面积逐年增加,导致耕地表层土壤中大量积累的秸秆不能及时彻底腐烂,非常容易使土传病原菌大量繁殖,为下季作物提供充足的初侵染菌源。茎基腐病(*Fusarium* crown rot)是典型的土传病害。黄淮麦区玉米与小麦轮作模式是导致茎基腐病在该区域严重流行危害的重要原因^[3-5]。同时,全球气候变化导致黄淮地区小麦生育期后期气温偏高、局部降雨少,从而加重了茎基腐病的流行漫延趋势。

小麦茎基腐病目前已遍及南非、澳大利亚、美国、加拿大、阿根廷和中国等小麦主产国家^[6-8],造成严重减产并降低籽粒品质。在黄淮麦区,假禾谷镰孢菌(*Fusarium pseudograminearum*)是引起小麦茎基腐病的优势病原菌^[9-12]。在2013-2020年,茎基腐病在河南全省麦区均有不同程度发生,特别是2016年茎基腐病病田率高达65.1%,部分严重病田减产51.6%^[13-14]。茎基腐病已成为制约河南小麦产业高质量可持续发展的重要生物灾害。此外,茎基腐已在河南周边的其他省份如河北、江苏、山东普遍发生,减产幅度为10%~40%^[15-18],严重制约我国主粮安全供给。防治小麦茎基腐病最有效的措施是种植抗性品种^[19-20]。采用苗期和成株期鉴定^[21]的方法,国内外学者对大量小麦种质资源进行茎基腐病的抗性筛选,以期筛选出高抗小麦茎基腐病的材料。研究表明,澳大利亚的MITTER等^[22]通过小麦成株期抗性鉴定,明确了供试品种Sunco、Kennedy、Wollaroi的抗性现状,其中Sunco表现为中抗性。张鹏等^[23]采用苗期抗性鉴定的方法对82份国内外小麦品种进行茎基腐的鉴定,结果表明Sunco、翻山小麦和宁麦9号等13个品种表现中抗,占16%,高感和中感品种分别占22%和62%。王会伟等^[24]采用苗期和成株期抗性鉴定的方法对河南308份小麦品系进行评价,只有‘西农1125’‘郑麦9134’‘中研麦906’‘阜麦1008’‘泰禾麦6号’和‘民研186’等6个品系表现为中抗,占比1.9%。由于缺乏主效高抗茎基腐的种质资源,目前生产上高抗茎基腐病的主栽品种极为稀少^[25-28]。

根部喷雾和种衣剂包衣是化学防治小麦茎基腐病采取的主要措施。相关研究表明,药剂包衣防治效果根据种衣剂的不同而好于根部喷雾或基本相当,但两种方法中根部喷雾分两次完成,人工成本较大;而药剂拌种一次完成。因此,采用种衣剂处理种子是有效防控茎基腐病的重要手段^[29-32]。在药效试验中,普通生产病田病原菌数量分布不均匀,导致正确评价药剂的防治效果存在较大的误差。本研究在连续2个小麦生长季节内利用人工接种的方法,在病圃内评价9种生产上使用频率较高和中试

阶段的新型小麦种衣剂对茎基腐病防治及增产效果,以期筛选高效种衣剂和合理使用种衣剂防控小麦茎基腐病提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

试验采用的品种为小麦品种郑麦1354,由河南省农业科学院小麦研究所成果转化与应用研究室提供。该品种是2019年通过河南省审定的半冬性品种,全生育期215.8~231.5 d,平均熟期比对照品种周麦18早熟0.5 d。幼苗半直立,叶色浓绿,苗势壮,分蘖力较强,成穗率一般,冬季抗寒性较好。春季起身拔节早,两极分化快,抽穗较晚,耐倒春寒能力一般。株高73.9~80.7 cm,株型松紧适中,抗倒性较好。旗叶较小,穗层整齐,熟相好。穗长方形,长芒,白壳,白粒,籽粒半角质,饱满度一般。穗数544.5万~574.5万·hm⁻²,穗粒数31.9~36.3粒,千粒重42.8~45.4 g。该品种具有周麦22的亲缘,中抗条锈病和白粉病,产量高,深受农民喜爱。本团队通过连续两年的病圃接种鉴定,判定此小麦品种为高感茎基腐病,是筛选药剂防治茎基腐病的理想试验材料。

假禾谷镰孢菌高致病力菌株(*F. pseudograminearum*) PY20-20由河南农业大学植物保护学院李洪连教授课题组提供;9种小麦种衣剂是生产上使用频率较高和中试阶段的新型小麦种衣剂,药剂由河南辉隆农资有限公司提供(表1)。

表1 用于防治小麦茎基腐病供试种衣剂处理

Table 1 Treatments of seed coating agents tested for wheat *Fusarium* crown rot control

试验处理 Treatment	种衣剂名称 Name of seed coating agent	使用剂量/(g·100 kg ⁻¹) Dose	生产厂家 Manufacturer
1	33 g·L ⁻¹ 咯菌·噻虫胺 Fludioxonil·Clothianidin	400	兴农药业(中国)有限公司 Xingnong Pharmaceutical (China) Corporation Limited
2	9% 苯甲·吡虫啉 Difenoconazole·Imidacloprid	2 500	江苏艾津作物科技集团有限公司 Jiangsu Aijin Crop Technology Group Corporation Limited
3	22 g·L ⁻¹ 苯甲·吡虫啉·萎锈灵 Difenoconazole·Imidacloprid·Carboxin·Standard	2 000	吉林省八达农药有限公司 Jilin Bada Pesticide Co. Ltd
4	23 g·L ⁻¹ 吡虫·咯菌·苯甲 Imidacloprid·Fludioxonil·Difenoconazole	1 000	美国世科姆公司 Sipcam Corporation in the United States
5	30 g·L ⁻¹ 吡醚·咯菌·噻虫胺 Pyraclostrobin·Fludioxonil·Clothianidin	120	江西中迅农化有限公司 Jiangxi Zhongxun Agrochemical Corporation Limited
6	27 g·L ⁻¹ 苯醚·咯菌·噻虫胺 Difenoconazole·Fludioxonil·Clothianidin	600	先正达南通作物保护有限公司 Syngenta Nantong Crop Protection Corporation Limited
7	27.2 g·L ⁻¹ 氟环菌·咯菌·噻虫胺 Sedaxane·Fludioxonil·Clothianidin	400	先正达(中国)投资有限公司 Syngenta (China) Investment Corporation Limited
8	35 g·L ⁻¹ 精甲霜灵·咯菌腈 Metalaxyl-M·Fludioxonil	500	江苏艾津农化有限责任公司 Jiangsu Aijin Agrochemical Corporation Limited
9	2% 戊唑醇 Tebuconazole	150	德国拜耳 Bayer Germany
10	自来水空白对照 Monk with tap water	/	/

1.2 方 法

1.2.1 病原菌培养 采用小米粒培养基培养和制备病原菌接种体。将小米加入沸水中煮30 s,过滤后均匀摊开晾干至米粒不黏手,分装在250 mL三角瓶中(15 g·瓶⁻¹),121 °C灭菌30 min。将菌株*F. pseudograminearum* PY20-20接种至PDA培养基平板(直径=9 cm)上25 °C培养3~4 d,待培养基皿长满菌丝后,用直径5 mm无菌打孔器取6~8个菌饼,接种到装有小米粒扩繁培养基的三角瓶中,25 °C培养5~7 d。每隔12 h颠倒摇晃三角瓶中的培养物,使病原菌与小米粒培养基充分混均,以防培养基结块。培养约20 d的接种体用于田间试验。

1.2.2 种子药剂处理 在10月份播种前1 d,按照表1中各种衣剂使用剂量对小麦种子进行包衣处理,以自来水处理作为空白对照,包衣处理后的种子立即晾干。

1.2.3 田间试验设置与播种 试验病圃位于冬麦区河南新乡市平原新区东圈村(35°04'N, 113°72'E), 于2020–2021年和2021–2022连续2年度生长季设置试验。2年试验设置方案一致, 每年各10个处理, 包括9种种衣剂处理和1个空白对照处理。每个试验小区宽1.5 m, 长9 m, 试验小区面积13.5 m², 每排1个重复, 10个小区, 共3排, 3个重复; 合计30个小区; 每个重复中不同处理随机排列, 试验区周边种植保护行。2020–2021年度田间试验小区随机排列(图1); 2021–2022年度田间试验小区排列参考上年度方案, 把各个处理重新进行随机排列, 避免各处理与上年度排列重合, 提高试验的随机性和准确度。小区播种量为187.5 kg·hm⁻², 两年都在10月10日播种, 且当天试验播完。播种时小麦种子和接种体等重量混合均匀, 采用自走式数控小区播种机(2B-6-ZL150, 河南力垦农业机械有限公司)播种。该播种机的优势在于种子均匀分布在播种盘上, 在设置好小区长度后, 当播种机播到指定长度时, 种子刚好下完, 无遗留, 不用清理, 且不会造成种子混杂。

保护行 Protect the line	保护行Protect the line										保护行 Protect the line
	5	3	7	9	1	10	8	4	6	2	
	1	10	6	2	4	9	3	5	8	7	
	9	4	8	10	5	6	7	2	1	3	
保护行Protect the line											

数字为各个处理编号, 编号对应药剂见表1

The numbers in the table are the treatment numbers. The corresponding reagents are shown in table 1

图1 试验小区设置

Figure 1 Setting of the test area

1.2.4 调查方法 在小麦拔节期进行第1次病情调查。每个处理小区内随机选取调查位点的面积为1 m², 调查该范围内每株小麦的分蘖株总数、病株数及其严重程度。在小麦乳熟期对每个小区中第1次调查位点进行第2次调查, 记载病株数、病害严重程度和普遍率, 以及产量形成的相关因子单位面积穗个数和穗粒数。在小麦收获期调查各处理小区的产量和千粒重。具体方法是每个小区内随机选取5个取样点, 每个取样点随机调查20株, 3次重复, 同时测定小区实际产量。小麦茎基腐病严重程度调查方法是参照BOVILL等^[33]制定的0~4级分级标准, 根据第1叶鞘包裹的茎秆基部变为褐色长度所占比例判定严重程度级别: 0级, 无任何病害症状; 1级, 褐变长度比例≤25%; 2级, 25%<褐变长度比例≤50%; 3级, 50%<褐变长度比例≤75%; 4级, 75%<褐变长度比例≤100%。

发病率(%)=发病植株/调查植株总数×100

病情指数=Σ(各级病株数×各严重程度级别)/调查总株数×100

防治效果(%)=(对照病情指数-处理病情指数)/对照病情指数×100

1.2.5 数据处理 采用SPSS23.0软件对数据进行统计分析, Duncan's新复极差法和独立样本t检验进行差异显著性检验($p=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 种衣剂处理防治小麦茎基腐病的效果比较

对两年各个处理拔节期和乳熟期病情指数和防治效果进行平均(表2), 结果显示, 在小麦拔节期, 空白对照病情指数(DI)为5.55±0.48, 各种衣剂处理DI均小于1, 明显小于空白对照值; 9种种衣剂处理的防治效果为(85.41±2.55)%~(99.17±0.83)%。其中35 g·L⁻¹精甲霜灵·咯菌腈、9%苯甲·吡虫啉、33 g·L⁻¹咯菌·噻虫胺和2%戊唑醇4个种衣剂处理防治效果为(96.35±0.89)%~(99.17±0.83)%, 高于其他5种种衣剂处理。在小麦乳熟期, 空白对照处理的DI为83.79±2.24, 而种衣剂处理的DI为(4.21±0.66)~(14.67±0.97)。其中35 g·L⁻¹精甲霜灵·咯菌腈和9%苯甲·吡虫啉的防治效果分别为(94.99±0.79)%和(93.98±0.37)%, 高于其他7个种衣剂处理。

表2 种衣剂处理在拔节期和乳熟期对小麦茎基腐病的防治效果

Table 2 Control results of seed coating agents treatments on wheat *Fusarium* crown rot at jointing stage and milk ripening stage

试验处理 Treatment	拔节期 Jointing stage		乳熟期 Milk ripening stage	
	病情指数 Disease index	防治效果/% Control effect	病情指数 Disease index	防治效果/% Control effect
	35 g·L ⁻¹ 精甲霜灵·咯菌腈 Metalaxyl-M·Fludioxonil	0.04±0.04	99.17±0.83	4.21±0.66
9% 苯甲·吡虫啉 Difenoconazole·Imidacloprid	0.09±0.09	98.72±1.28	5.08±0.29	93.98±0.37
33 g·L ⁻¹ 咯菌·噻虫胺 Fludioxonil·Clothianidin	0.09±0.04	98.60±0.70	9.84±0.44	88.27±0.82
2% 戊唑醇 Tebuconazole	0.21±0.04	96.35±0.89	9.17±0.68	88.94±0.70
27 g·L ⁻¹ 苯醚·咯菌·噻虫胺 Difenoconazole·Fludioxonil·Clothianidin	0.42±0.11	92.15±2.05	8.38±0.72	89.98±0.87
27.2 g·L ⁻¹ 氟环菌·咯菌·噻虫胺 Sedaxane·Fludioxonil·Clothianidin	0.54±0.17	89.87±3.67	11.58±0.53	85.88±1.23
30 g·L ⁻¹ 吡醚·咯菌·噻虫胺 Pyraclostrobin·Fludioxonil·Clothianidin	0.63±0.08	88.68±1.34	12.3±1.31	85.33±1.80
23 g·L ⁻¹ 吡虫·咯菌·苯甲 Imidacloprid·Fludioxonil·Difenoconazole	0.79±0.11	85.41±2.55	11.04±0.82	87.02±0.76
22 g·L ⁻¹ 苯甲·吡虫啉·萎锈灵 Difenoconazole·Imidacloprid·Carboxin	0.75±0.14	86.31±2.67	14.67±0.97	82.45±1.21
空白对照 Control	5.55±0.48	/	83.79±2.24	/

2.2 种衣剂处理对小麦产量因子的影响

通过连续2年对不同种衣剂处理的小麦产量因子调查(表3)发现,9种不同种衣剂处理相比对照分蘖数都有所增加,但23 g·L⁻¹吡虫·咯菌·苯甲和22 g·L⁻¹苯甲·吡虫啉·萎锈灵两个处理增加不显著($p > 0.05$),其他7种处理均显著($p < 0.05$),其中35 g·L⁻¹精甲霜灵·咯菌腈和33 g·L⁻¹咯菌·噻虫胺种子包衣处理后分蘖株为[(1 608.48±34.88)~(1 650.25±45.48)]万株·hm⁻²,比对照处理分别增加15.21%和18.21%,增加幅度最为明显,表明这两种种衣剂对小麦分蘖有促进作用。

表3 种衣剂处理对小麦主要产量相关性状的影响

Table 3 Effects of treatments with seed coating agents on major wheat yield related traits

试验处理 Treatment	分蘖株/(万株·hm ⁻²) Tillers	穗数/(万·hm ⁻²) Spikes	穗粒数 Seeds per spike	千粒重/g 1 000-seed weight	产量/(kg·hm ⁻²) Yield	增产率/% Yield increase
35 g·L ⁻¹ 精甲霜灵·咯菌腈 Metalaxyl-M·Fludioxonil	1 608.48±34.88 ^{ab}	602.65±3.17 ^a	33.79±0.30 ^a	42.46±0.17 ^{ab}	7 341.25±75.41 ^a	39.62±4.29 ^a
9% 苯甲·吡虫啉 Difenoconazole·Imidacloprid	1 494.55±17.19 ^{def}	595.73±2.07 ^{ab}	33.44±0.32 ^a	42.86±0.31 ^a	7 170.00±101.14 ^a	36.31±4.16 ^{ab}
33 g·L ⁻¹ 咯菌·噻虫胺 Fludioxonil·Clothianidin	1 650.25±45.48 ^a	572.64±11.71 ^{cde}	32.26±0.81 ^{bc}	42.73±0.21 ^a	7 070.00±58.12 ^{ab}	34.42±3.71 ^{abc}
2% 戊唑醇 Tebuconazole	1 562.90±10.28 ^{bcd}	587.04±2.55 ^{abc}	31.64±0.49 ^{bcd}	42.49±0.14 ^{ab}	6 807.50±60.58 ^{bc}	29.43±3.63 ^{abcd}
27 g·L ⁻¹ 苯醚·咯菌·噻虫胺 Difenoconazole·Fludioxonil·Clothianidin	1 411.98±24.31 ^f	558.78±5.53 ^c	32.72±0.61 ^{ab}	42.26±0.17 ^{abc}	6 558.75±116.70 ^{cd}	25.04±5.68 ^{cde}
27.2 g·L ⁻¹ 氟环菌·咯菌·噻虫胺 Sedaxane·Fludioxonil·Clothianidin	1 517.70±29.11 ^{cde}	572.55±4.88 ^{cde}	32.08±0.51 ^{bcd}	41.77±0.20 ^{bcd}	6 697.5±39.02 ^{cd}	27.34±3.52 ^{bcd}
30 g·L ⁻¹ 吡醚·咯菌·噻虫胺 Pyraclostrobin·Fludioxonil·Clothianidin	1 583.23±48.97 ^{abc}	578.51±6.37 ^{bcd}	31.22±0.22 ^{cd}	41.46±0.11 ^{cde}	6 445.00±94.35 ^{de}	22.41±2.78 ^{de}
23 g·L ⁻¹ 吡虫·咯菌·苯甲 Imidacloprid·Fludioxonil·Difenoconazole	1 448.48±19.42 ^{efg}	566.43±3.91 ^{de}	31.45±0.23 ^{bcd}	41.03±0.20 ^{de}	6 211.25±136.90 ^{ef}	17.90±2.82 ^c
22 g·L ⁻¹ 苯甲·吡虫啉·萎锈灵 Difenoconazole·Imidacloprid·Carboxin	1 460.73±32.17 ^{efg}	562.45±9.97 ^{de}	30.92±0.14 ^d	40.82±0.43 ^c	6 118.75±129.91 ^f	16.31±3.81 ^c
空白对照 Control	1 396.08±16.0 ^g	532.01±2.95 ^f	30.90±0.47 ^d	39.14±0.71 ^f	5 282.50±169.54 ^g	

注:同列数据后不同小写字母表示经Duncan's氏新复极差法检验在 $p=0.05$ 水平差异显著。

Note: Different lowercase letters behind numerical data in a same column represent significant difference at $p=0.05$ level based on Duncan's new multiple range test.

9种不同种衣剂处理对穗数增加显著($p < 0.05$),增加幅度最低为4.57%,最高达13.25%,尤以 $35 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 精甲霜灵·咯菌腈和9%苯甲·吡虫啉这两个处理穗数增加幅度最突出,分别增产11.75%和13.25%。不同处理中, $35 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 精甲霜灵·咯菌腈、9%苯甲·吡虫啉和 $27 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 苯醚·咯菌·噻虫胺等3个处理对穗粒数增加显著($p < 0.05$)。

9种不同种衣剂对提高小麦的千粒重均为显著($p < 0.05$),其中种衣剂 $33 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 咯菌·噻虫胺、 $35 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 精甲霜灵·咯菌腈、2%戊唑醇、 $27 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 苯醚·咯菌·噻虫胺和9%苯甲·吡虫啉处理试验,小麦千粒重超过42 g,比对照处理(39.14 g)增加8.0%~9.5%。

在实际测产中,9种不同种衣剂处理相比对照增产幅度范围为 $(16.31 \pm 3.81)\% \sim (39.62 \pm 4.29)\%$,其中 $35 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 精甲霜灵·咯菌腈和9%苯甲·吡虫啉包衣处理种子这两个处理增产最突出,分别增产 $(39.62 \pm 4.29)\%$ 和 $(36.31 \pm 4.16)\%$ 。

3 讨论与结论

多年来,各地实行冬小麦-夏玉米连作、秸秆还田及种植方式结构调整等综合因素的影响,尤其近年来全球气候变暖和耕作模式固定且比较单一,有利于耕作层土壤中假禾谷镰刀菌(*F. pseudograminearum*)菌量大量累积。黄淮海小麦主产区以假禾谷镰刀菌(*F. pseudograminearum*)为优势菌源的小麦茎基腐病呈重发态势,小麦的产量和质量受到了严重威胁^[33-36],粮食核心产区的河南麦区茎基腐病逐年加重,局部造成严重经济损失^[37]。局限于土传腐生病原菌的侵染为害特点,目前生产上缺乏可供使用的高抗茎基腐病的主栽品种,防治措施主要以农业措施和化学杀菌剂防控为主^[38],化学药剂包衣处理种子不仅能够防病防虫,还可以促进幼苗生长,提高植株的抗逆性,提高小麦产量,其简便、缓释、长效等优点深受种植户的喜悦。根部喷雾和种衣剂包衣是化学防治小麦茎基腐病采取的主要措施,汪华等^[30]选取5种杀菌剂通过药剂拌种和根部喷雾的方法防治田间小麦茎基腐病,结果表明,5种杀菌剂根部喷雾的试验防效为25.3%~56.9%,药剂拌种的防效为11.8%~54.4%,试验中,根部喷雾分两次完成,药剂拌种一次完成。王晓楠等^[31]采用药剂拌种在室内防治小麦茎基腐病,敌萎丹+芸天力、适麦丹+芸天力防效分别为83.63%和83.85%。张鹏等^[32]利用种子包衣防治小麦苗期茎基腐病,2%戊唑醇平均防效为58.8%,25%啞菌酯平均防效达49.9%,多菌灵拌种平均防效36.6%。因此,采用种衣剂处理种子是有效防控茎基腐病的重要手段。

目前市场上小麦种子包衣剂种类多,但诸多种子处理药剂缺乏茎基腐病高效防控和增产效果的数据支撑。因此,利用人工接种病圃试验比较防控茎基腐病的种衣剂的防病增产实际效果,为合理选用种衣剂提供科学依据。小麦茎基腐病田间自然发生流行呈点片状,而且造成田块的经济损失程度分布不均匀,从而影响了客观评价药剂防控的实际效果,需要大面积多年多点进行药剂防控试验。在本研究中,首先建立了高效稳定的人工接种茎基腐病原菌方法和试验病圃,在连续两年防控试验空白对照区小麦乳熟期茎基腐病情指数均超过85,各个小区发病均匀而且充分,重复性高,区组间误差小,保证了本试验结果的可靠性。

采用苯醚甲环唑和精甲霜灵对种子进行包衣处理,可降低小麦茎基腐病危害29%~50%^[39]。有研究表明,用戊唑醇包衣处理种子,对由黄色镰刀菌(*F. culmorum*)引起的小麦茎基腐病防治效果达到47.8%和45%^[40-41]。采用多菌灵、戊唑醇等种衣剂能有效防控苗期小麦茎基腐病,但在灌浆期防治效果显著降低,推测是由于环境气候、土壤类型及土壤微生物种类等多种因素影响所致^[42]。本研究中选用9种种衣剂,除戊唑醇为单剂型,其他均是复合型种衣剂,增强了药剂防效稳定性,从小麦生育前期至乳熟期均对茎基腐病具有较高的防治效果。尤其是 $35 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 精甲霜灵·咯菌腈和9%苯甲·吡虫啉对茎基腐病不仅具有高防效而且效果稳定,两年试验均增产30%以上。合理混配不同作用机理的药剂,不仅扩大了抑菌谱,而且降低和延缓病原菌耐药性积累,延长了药剂使用周期。

众所周知,对于小麦病害的防治,最根本的方法是选择抗病性品种,其次是采用合适的栽培模式,再次是采用药剂防治。目前全国各小麦育种单位正加强茎基腐病抗源发掘和利用,加速培育抗病良品,依据文献的报道,高抗小麦茎基腐病的品种极少^[18,27,29],大部分是高感和中感品种,因此对抗性亲本筛选迫在眉睫,对小麦抗茎基腐病品种的选育任重道远。茎基腐病(*Fusarium crown rot*)是典型的土传

病害,黄淮麦区玉米与小麦轮作模式是导致茎基腐病在该区域严重流行危害的重要原因^[2]。所以,防治茎基腐病,选择合适的种衣剂对小麦种子进行处理,这是目前最直接也是最有效的解决方法。

小麦茎基腐病在小麦生长的全生育期均可发生,单一的防控措施达不到理想的病害防治效果,种子包衣处理只是防治小麦茎基腐病有效措施之一,研究发现,发病后期种子包衣处理的小麦茎基腐病病株率较未种子包衣处理降低不明显,说明种子包衣处理对田间病原菌量无明显的控制效果^[43]。小麦茎基腐病的防控应协调抗性品种利用、绿色高效种衣剂筛选、土壤微生物菌群多样性及与其他有效技术综合运用,在小麦耕作模式中,小麦茎基腐病发生程度受品种抗性水平、播种时期、施肥措施以及秸秆管理措施等多种因素的影响^[44-46]。本研究中是在特定的环境下测定了种子包衣措施对单个主栽品种病害防治效果,存在一定的局限性,不同小麦品种在不同的生态环境下对茎基腐病的抗耐病性存在差异。大田生产中需要根据当地生产中主栽品种的抗性特征、种植习惯以及肥水管理措施,研究制定与种子包衣技术配合施用的综合防治措施,为高效防控小麦茎基腐病提供技术支持。

参考文献:

- [1] 王绍中,田云峰,郭天财,等.河南小麦栽培学:新编[M].北京:中国农业科学技术出版社,2010.
- [2] 杨云,贺小伦,胡艳峰,等.黄淮麦区主推小麦品种对假禾谷镰刀菌所致茎基腐病的抗性[J].麦类作物学报,2015,35(3):339-345.
- [3] 邓渊钰,刘振国,陈琛,等.假禾谷镰孢毒素化学型快速鉴定及在分析黄淮麦区分离物中的应用[J].植物病理学报,2023.<https://doi.org/10.13926/j.cnki.apps.001620>.
- [4] AKINSANMI O A, MITTER V, SIMPFENDORFER S, et al. Identity and pathogenicity of *Fusarium* spp. isolated from wheat fields in Queensland and northern New South Wales[J]. Journal of Agricultural Research, 2004, 55(1): 97-103.
- [5] SMILEY R W, GOURLIE J A, EASLEY S A, et al. Pathogenicity of fungi associated with the wheat crown rot complex in Oregon and Washington[J]. Plant Disease, 2005, 89(9): 949-957.
- [6] MISHRA P K, TEWARI J P, CLEAR R M, et al. Genetic diversity and recombination within populations of *Fusarium pseudograminearum* from western Canada[J]. International Microbiology, 2006, 9(1): 65-68.
- [7] CASTAÑARES E, WEHRHAHNE L, STENGLEIN S A. *Fusarium pseudograminearum* associated with barley kernels in Argentina[J]. Plant Disease, 2012, 96(5): 763-772.
- [8] ZHANG X X, SUN H Y, SHEN C M, et al. Survey of *Fusarium* spp. causing wheat crown rot in major winter wheat growing regions of China[J]. Plant Disease, 2015, 99(11): 1610-1615.
- [9] 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 Disease, 2012, 96(7): 1065-1079.
- [10] 李伟,陈莹,张晓祥,等.小麦茎基褐腐病原菌组成及其致病力研究[J].麦类作物学报,2011,31(1):170-175.
- [11] 吴斌,郭霞,张眉,等.鲁西南地区小麦茎基腐病原菌鉴定及其致病力分析[J].麦类作物学报,2018,38(3):358-365.
- [12] 孟程程,孙晓凤,张莉,等.山东省小麦茎基腐病的病原鉴定[J].山东农业大学学报(自然科学版),2019,50(5):753-757.
- [13] 周海峰,杨云,牛亚娟,等.小麦茎基腐病的发生动态与防治技术[J].河南农业科学,2014,43(5):114-117.
- [14] 徐飞,宋玉立,周益林,等.2013-2016年河南省小麦茎基腐病的发生危害情况及特点[J].植物保护,2016,42(6):126-132.
- [15] 纪莉景,栗秋生,王亚娇,等.引起河北省小麦枯白穗症状的病害种类及其分布调查[J].中国农技推广,2017,33(9):66-69.
- [16] 陈厚德,王彰明,李清铎.江苏小麦茎基褐腐病的初步研究[J].江苏农学院学报,1996,17(2):47-50.
- [17] 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.
- [18] LIU C J, OGBONNAYA F C. Resistance to *Fusarium* crown rot in wheat and barley: A review[J]. Plant Breeding, 2015, 134(4): 365-372.
- [19] 桑育黎,石磊,辛跃强,等.赤拟谷盗气味结合蛋白研究进展[J].辽宁大学学报(自然科学版),2022,49(1):79-86.
- [20] SHI S D, ZHAO J C, PU L F, et al. Identification of new sources of resistance to crown rot and *Fusarium* head blight in wheat[J]. Plant Disease, 2020, 104(7): 1979-1985.
- [21] WILDERMUTH G B. Testing wheat seedlings for resistance to crown rot caused by *Fusarium graminearum* group

- 1[J].Plant Disease,1994,78(10):949-950.
- [22] MITTER V,ZHANG M C,LIU C J,et al.A high-throughput glasshouse bioassay to detect crown rot resistance in wheat germplasm[J].Plant Pathology,2006,55(3):433-441.
- [23] 张鹏,霍燕,周森平,等.小麦禾谷镰孢菌茎基腐病抗源的筛选与评价[J].植物遗传资源学报,2009,10(3):431-435.
- [24] 王会伟,李国领,高飞,等.河南省308份小麦新品系对茎基腐病的抗性评价[J].麦类作物学报,2023,43(1):46-55.
- [25] 邢小萍,张娅珂,刘庆强,等.黄淮麦区小麦品种对两种镰孢菌(*Fusarium*)的抗性鉴定[J].植物遗传资源学报,2020,21(5):1058-1067.
- [26] 金京京,齐永志,王丽,等.小麦种质对茎基腐病抗性评价及优异种质筛选[J].植物遗传资源学报,2020,21(2):308-313.
- [27] 周森平,姚金保,张鹏,等.小麦抗茎腐病种质筛选及鉴定新方法的建立[J].植物遗传资源学报,2016,17(2):377-382.
- [28] 蒲乐凡,任慧,欧杨晨,等.小麦茎基腐病和赤霉病抗源筛选及关联SNP位点分析[J].麦类作物学报,2020,40(7):780-788.
- [29] 徐飞,李淑芳,石瑞杰,等.黄淮麦区主栽小麦品种抗茎基腐病评价及茎秆和籽粒中毒素积累分析[J].植物病理学报,2021,51(6):912-920.
- [30] 汪华,张素梅,常威,等.五种杀菌剂对小麦茎基腐病的防效比较[J].湖北农业科学,2020,59(24):124-127.
- [31] 王晓楠,李宁辉,刘畅,等.低温下寒地冬小麦差异蛋白表达比较分析[J].东北农业大学学报,2023,54(2):8-16.
- [32] 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.
- [33] BOVILL W D, HORNE M, HERDE D, et al. Pyramiding QTL increases seedling resistance to crown rot (*Fusarium pseudo-graminearum*) of wheat (*Triticum aestivum*)[J].Theoretical and Applied Genetics, 2010, 121(1): 127-136.
- [34] 徐畅,张领先,乔岩.基于电子病历的作物病虫害关联挖掘及智能诊断[J].智能化农业装备学报(中英文),2023,4(4):1-10.
- [35] 姚琴,胡广斌,邢玉平,等.小麦茎基腐病原菌的分离与鉴定[J].大麦与谷类科学,2017,34(4):40-44.
- [36] 孟程程,孙晓凤,张莉,等.山东省小麦茎基腐病的病原鉴定[J].山东农业大学学报(自然科学版),2019,50(5):753.
- [37] 李巧云,郭振峰,郝晓鹏,等.小麦茎基腐病抗性鉴定方法研究进展[J].麦类作物学报,2023,43(5):591-599.
- [38] 周锋,胡海燕,范玉闯,等.河南省小麦茎基腐病原的鉴定及其对13种杀菌剂的敏感性测定[J].河南科技学院学报(自然科学版),2021,49(1):1-5,13.
- [39] 张凯,宰松梅,仵峰,等.小麦玉米秸秆还田对土壤水分入渗的影响[J].东北农业大学学报,2022,53(9):35-42.
- [40] BALMAS V,DELOGU G,SPOSITO S,et al.Use of a complexation of tebuconazole with beta-cyclodextrin for controlling foot and crown rot of durum wheat incited by *Fusarium culmorum*[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2006,54(2):480-484.
- [41] AKGÜL D S,ERKILIÇ A.Effect of wheat cultivars,fertilizers,and fungicides on *Fusarium* foot rot disease of wheat[J].Turkish Journal of Agriculture and Forestry,2016,40:101-108.
- [42] 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.
- [43] 纪莉景,王亚娇,栗秋生,等.防治小麦茎基腐病种衣剂的筛选及全生育期防控效果[J].河北农业科学,2020,24(2):42-47.
- [44] WILDERMUTH G B,PURSS G S.Further sources of field resistance to crown rot (*Gibberella zeae*) of cereals in Queensland [J].Australian Journal of Experimental Agriculture,1971,11(51):455-467.
- [45] KLEIN T A,BURGESS L W,ELLISON F W.The incidence of crown rot in wheat,barley and triticale when sown on two dates[J].Australian Journal of Experimental Agriculture,1989,29(4):559-571.
- [46] BURGESS L W,BACKHOUSE D,SUMMERELL B A,et al.Long-term effects of stubble management on the incidence of infection of wheat by *Fusarium graminearum* Schw. group 1[J].Australian Journal of Experimental Agriculture,1993,33(4):451-463.

[责任编辑 李薇]