

小麦茎基腐病防治药剂及抗病品种的筛选

付燕子 朱运启 王 峭 朱立林 王保通* 李 强*

(西北农林科技大学植物保护学院,作物抗逆与高效生产全国重点实验室,陕西杨凌 712100)

摘要:为获得防治小麦茎基腐病的有效药剂和抗病品种,测定12种杀菌剂对小麦茎基腐主要病原菌假禾谷镰孢菌*Fusarium pseudograminearum*的室内毒力、对小麦生长的影响及对小麦茎基腐病的室内防治效果,并鉴定144份小麦品种(系)对茎基腐病的抗性。结果表明,12种杀菌剂对假禾谷镰孢菌均有一定的抑制效果,其中15%氟烯菌酯·5%己唑醇的抑制率最高,EC₅₀为0.002 mg/L,其次是6.6%嘧菌酯·1.1%咯菌腈·3.3%精甲霜灵、25 g/L咯菌腈和430 g/L戊唑醇,EC₅₀分别为0.016、0.069和0.099 mg/L。12种杀菌剂拌种处理对小麦出苗、株高、根长和鲜重均有不同程度的影响,尤其对出苗率影响最大,其中15%氟烯菌酯·5%己唑醇处理的出苗率最低,为30.41%。15%氟烯菌酯·5%己唑醇拌种处理的防治效果最好,为70.43%;其次是430 g/L戊唑醇和25 g/L咯菌腈·37.5 g/L精甲霜灵,防治效果分别为56.34%和53.34%。在供试144份小麦品种(系)中,仅3份对小麦茎基腐病表现为中感,其余141份均表现为高感,无免疫和抗病品种。综上,目前防治小麦茎基腐病时建议选用15%氟烯菌酯·5%己唑醇等杀菌剂进行拌种处理,但应严格控制药剂用量,以防影响小麦出苗。

关键字:小麦茎基腐病;药剂;毒力测定;植株生长;品种抗性;防治效果

Screening of fungicides and disease-resistant varieties for wheat *Fusarium* crown rot

Fu Yanzi Zhu Yunqi Wang Qiao Zhu Lilin Wang Baotong* Li Qiang*

(State Key Laboratory of Crop Stress Resistance and High-Efficiency Production, College of Plant Protection, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi Province, China)

Abstract: To obtain effective fungicide and resistant varieties for the control of wheat *Fusarium* crown rot (FCR), 12 different types of fungicides were selected to test the laboratory virulence against FCR fungi, their effects on wheat growth and the indoor efficacy in the control of wheat FCR. In addition, the resistance of 144 wheat varieties (lines) for resistance to wheat FCR were identified. The results showed that all 12 fungicides showed some inhibitory effect on *F. pseudograminearum*, among which the highest inhibition rate was 15% phenamacril·5% hexaconazole with the EC₅₀ of 0.002 mg/L, followed by 6.6% azoxystrobin·1.1% fludioxonil·3.3% metalaxyl-M, 25 g/L fludioxonil, and 430 g/L tebuconazole with EC₅₀ of 0.016, 0.069, and 0.099 mg/L, respectively. Twelve fungicides seed dressing treatments had different effects on wheat emergence, plant height, root length, and fresh weight, especially on emergence rate, among which the lowest wheat emergence rate was 30.41% produced by treatment with 15% phenamacril·5% hexaconazole. The indoor potted control effect test showed that the control efficacy of 15% phenamacril·5% hexaconazole was the optimal, 70.43%; followed by 430 g/L tebuconazole and 25 g/L chlorfenapyr·37.5 g/L fenpropothrin, the control efficacy were 56.34% and 53.34%, respectively. Among the 144 wheat varieties (lines) tested, only three were moderately susceptible, the

基金项目:国家重点研发计划(2021YFD1401000),陕西省重点研发计划(2022NY-125)

*通信作者(Authors for correspondence),E-mail:qiangli@nwsuaf.edu.cn,wangbt@nwsuaf.edu.cn

收稿日期:2023-07-22

other 141 were highly susceptible, there were no immune or resistant varieties. In conclusion, it is suggested to use 15% phenamacril·5% hexaconazole for seed dressing treatment, but the dosage of these agents should be strictly controlled to prevent the side-effect on wheat.

Key words: *Fusarium* crown rot; fungicide; toxicity assay; plant growth; varietal resistance; control effect

小麦茎基腐病又称旱地脚腐病、脚腐病等(Smiley et al., 2005; Chakraborty et al., 2006),是由假禾谷镰孢菌 *Fusarium pseudograminearum*、禾谷镰孢菌 *F. graminearum*、黄色镰孢菌 *F. culmorum* 和亚洲镰孢菌 *F. asiaticum* 等多种病原菌引起的一种土传病害(Dyer et al., 2009; Obanor & Chakraborty, 2014; 范学锋, 2021)。我国北方小麦主产区发生的茎基腐病主要由假禾谷镰孢菌侵染引起,侵染后苗期小麦叶鞘变褐,分蘖减少,植株矮弱,成株期小麦茎秆1~3节变褐,形成酱油秆,灌浆期容易形成白穗,严重影响产量(徐飞等, 2016; Kazan & Gardiner, 2018)。该病害最早于1951年在澳大利亚被报道(Knigh & Sutherland, 2013),1996年我国江苏省首次报道有小麦茎基腐病发生,而后河南(周海峰等, 2014; 杨云等, 2015; 高飞等, 2023)、河北(贺小伦等, 2016)、山东(吴斌等, 2018)、陕西(魏会新等, 2021; 朱运启等, 2022)等省也陆续报道该病害发生,近年在我国的发生面积和危害程度呈逐年加重趋势。在我国小麦茎基腐病为新发病害,未有登记直接用于防治该病害的药剂,因此筛选小麦茎基腐病的防治药剂迫在眉睫。

关于小麦茎基腐病的防治已有相关报道,如林琪童等(2020)研究结果显示,解淀粉芽孢杆菌 *Bacillus amyloliquefaciens* 对小麦茎基腐的田间防治效果可达57.4%;徐小娃和杨艳会(2021)研究表明,新型琥珀酸脱氢酶抑制剂(succinate dehydrogenase inhibitor, SDHI)三氟吡啶胺对小麦茎基腐病有一定的防治效果,酷拉斯制剂和三氟吡啶胺复配拌种处理对小麦茎基腐病的防治效果达62%~82%;康国强等(2021)研究表明,25%氰烯菌酯悬浮剂、3%苯醚甲环唑悬浮种衣剂、10%咯菌腈悬浮种衣剂和6%戊唑醇悬浮种衣剂拌种处理对小麦茎基腐病的防治效果亦可达76%以上,且保产效果显著;Zhang et al. (2022)报道用贝莱斯芽孢杆菌 *Bacillus velezensis* YB-185拌种处理对小麦茎基腐病的田间和室内防治效果分别可达57.6%和66.1%。尽管药剂防治能快速、有效地控制小麦茎腐病扩散,但小麦茎基腐病原菌腐生性强,宿主广泛,主要发病部位为茎基

部,且全生育期均可发病,使用单一防治措施很难根治,应采取农业防治、药剂防治及种植抗性品种等多个措施并施防治。其中,种植抗性品种仍是防治小麦茎基腐最经济、有效和安全的措施,但目前可用于防控茎基腐病的小麦抗性品种较少,如金京京等(2020)对670份我国主要麦区小麦品种(系)进行茎基腐病苗期抗性鉴定,发现84%的小麦品种(系)对茎基腐病表现感病,包含多个近年来生产中的主推品种;徐飞等(2021)对20份黄淮麦区主栽小麦品种进行茎基腐病苗期和成株期抗性鉴定,发现45%及以上小麦品种在苗期和成株期均感病;王会伟等(2023)对308份河南省主要区域试验小麦品种进行茎基腐病苗期抗性鉴定,发现95.7%的品种表现高感,仅1.95%的品种表现中抗。因此,加大小麦茎基腐病抗病品种的筛选和抗病品种培育刻不容缓。

为获得防治小麦茎基腐病的有效药剂和抗病品种,选用12种生产上常用的防治镰孢菌的杀菌剂,于室内测定这12种杀菌剂对假禾谷镰孢菌的毒力、对小麦生长的影响及对小麦茎基腐病的室内防治效果,并鉴定144份小麦品种(系)对茎基腐病的抗性,以期为小麦茎基腐病的防治和抗病育种提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试菌系、小麦品种和土壤:假禾谷镰孢菌菌株JD062-5C,自陕西省渭南市澄城县交道镇的患茎基腐病的小麦植株上分离纯化获得,由本实验室保存。高感小麦品种西农933,由西北农林科技大学农学院提供;144份陕西省区试小麦品种(系),由陕西省种子管理站提供;无菌土,采自西北农林科技大学北校区试验田,并于121℃高温灭菌。

培养基:马铃薯葡萄糖琼脂(potato dextrose agar, PDA)培养基成分为去皮马铃薯200 g、葡萄糖20 g、琼脂15 g,蒸馏水定容至1 L,高压灭菌20 min;将小米洗净倒入锅中,加水煮沸1.0~1.5 min,倒出用冷水冲洗4~5次,洗净后置于通风处晾干,分装至500 mL三角瓶中,封口包扎,于压强0.1 MPa、温度

121 ℃条件下湿热灭菌20 min,即获得小米培养基。

杀菌剂和仪器:50% 多菌灵(carbendazim)可湿性粉剂,四川国光农化股份有限公司;30% 戊唑醇·10% 吡唑醚菌酯(30% tebuconazole·10% pyraclostrobin)水分散粒剂,陕西标正作物科学有限公司;25 g/L 咯菌腈(fludioxonil)悬浮种衣剂、250 g/L 噻菌酯(azoxystrobin)悬浮剂、6.6% 噻菌酯·1.1% 咯菌腈·3.3% 精甲霜灵(6.6% azoxystrobin·1.1% fludioxonil·3.3% metalaxyl-M)悬浮种衣剂、25 g/L 咯菌腈·37.5 g/L 精甲霜灵(25 g/L fludioxonil·37.5 g/L metalaxyl-M)悬浮种衣剂,先正达南通作物保护有限公司;3.7% 吡唑醚菌酯·7.3% 灭菌唑(3.7% pyraclostrobin·7.3% triticonazole)悬浮拌种剂,巴斯夫欧洲公司;430 g/L 戊唑醇(tebuconazole)悬浮剂,江苏七洲绿色化工股份有限公司;30 g/L 苯醚甲环唑(difenoconazole)悬浮种衣剂,山东东泰农化有限公司;15% 氟烯菌酯·5% 己唑醇(15% phenamacril·5% hexaconazole)悬浮剂,陕西上格之路生物科学有限公司;7.4% 嘉虫嗪·0.8% 咯菌腈·0.8% 苯醚甲环唑(7.4% thiamethoxam·0.8% fludioxonil·0.8% difenoconazole)悬浮种衣剂,青岛瀚生生物科技股份有限公司;500 g/L 甲基硫菌灵(polyantimycinl)悬浮剂,兴农药业(中国)有限公司。DRGL-P1000-B3 人工气候培养箱,合肥华德利科学器材有限公司;GHX-9270B 恒温培养箱,上海福玛实验设备有限公司。

1.2 方法

1.2.1 供试杀菌剂对小麦茎基腐病菌室内毒力的测定

用清水将50% 多菌灵、430 g/L 戊唑醇、30% 戊唑醇·10% 吡唑醚菌酯、25 g/L 咯菌腈、250 g/L 噻菌酯、3.7% 吡唑醚菌酯·7.3% 灭菌唑、30 g/L 苯醚甲环唑、15% 氟烯菌酯·5% 己唑醇、7.4% 嘉虫嗪·0.8% 咯菌腈·0.8% 苯醚甲环唑、25 g/L 咯菌腈·37.5 g/L 精甲霜灵、500 g/L 甲基硫菌灵和6.6% 噻菌酯·1.1% 咯菌腈·3.3% 精甲霜灵12种杀菌剂均配制为0.1、0.5、1、5和10 mg/L 的浓度,分别加入灭菌且50 ℃左右的PDA培养基,混匀后倒入培养皿中制成含不同浓度杀菌剂的PDA平板,以不加杀菌剂的PDA平板为空白对照,每个浓度重复3次。用直径6 mm打孔器在假禾谷镰孢菌菌落边缘打取菌饼,分别接入到含药PDA平板中央,封口并标记,25 ℃下培养5 d,采用十字交叉法测量菌落直径,计算菌落净生长直径和菌丝生长抑制率。菌落净生长直径=测量的菌落直径-菌饼直径,抑制率=(对照组菌落直径-处理组菌落直径)/对照组菌落直径×100%。以浓度的对数值

为自变量x,抑菌率的概率值为因变量y,绘制毒力曲线,计算各杀菌剂的毒力回归方程和相关系数,并计算抑制中浓度EC₅₀(祁金玉等,2010)。

1.2.2 供试杀菌剂对小麦生长影响的测定

将假禾谷镰孢菌菌株JD062-5C接种到PDA平板上,于25 ℃倒置培养3~4 d,挑取菌落边缘菌丝接入到灭菌小米培养基中,于25 ℃培养7~10 d,培养期间每天摇晃2~3次,待小米表面长满菌组织为止,放入4 ℃冰箱保存,备用。将扩繁的病原菌和无菌土按照质量比1:500混合均匀,称取250 g装入直径9 cm、高7 cm的塑料花盆中。选取健康饱满、大小一致的西农933种子进行拌种处理,其中50% 多菌灵为每千克小麦种子用药10 g,430 g/L 戊唑醇为每千克小麦种子用药1 mL,30% 戊唑醇·10% 吡唑醚菌酯、25 g/L 咯菌腈、250 g/L 噻菌酯、3.7% 吡唑醚菌酯·7.3% 灭菌唑、30 g/L 苯醚甲环唑、15% 氟烯菌酯·5% 己唑醇、7.4% 嘉虫嗪·0.8% 咯菌腈·0.8% 苯醚甲环唑、25 g/L 咯菌腈·37.5 g/L 精甲霜灵、500 g/L 甲基硫菌灵和6.6% 噻菌酯·1.1% 咯菌腈·3.3% 精甲霜灵其他10种杀菌剂均为每千克小麦种子用药2 mL。每盆播种10粒杀菌剂拌种处理种子,以清水处理的种子为空白对照,每个处理3次重复。将花盆置于昼温25 ℃、夜温20 ℃、光周期14 L:10 D、相对湿度60%~80%的人工气候培养箱中培养。每天观察并记录出苗数量并计算出苗率,麦苗出土2 cm视为出苗。接种30 d后,先进行病情调查,然后将每种杀菌剂处理的30株小麦均从塑料花盆中取出,用水将根冲洗干净,分别测定小麦的株高、鲜重和根长。

1.2.3 供试杀菌剂的室内防治效果测定

1.2.2中接种30 d后对各处理小麦植株进行病情调查。根据0~9级分级标准(Poole et al., 2012)对病情进行分级。分级标准:0级,植株未发病;1级,地中茎明显变褐或第1叶鞘出现轻微症状;3级,第1叶鞘明显变褐,但叶鞘未变黑;5级,第1叶鞘变黑或者第2叶鞘变褐;7级,第3叶鞘出现变褐症状或植株因发病而发育迟缓或接近死亡;9级,植株因发病而死亡。按照公式计算发病率、病情指数和防治效果。发病率=发病株数/总株数×100%;病情指数=Σ(各级病株数×各级代表值)/(调查总株数×最高病级数)×100%;防治效果=(对照病情指数-处理病情指数)/对照病情指数×100%。

1.2.4 供试品种(系)对小麦茎基腐病的抗性鉴定

2019年6月于西北农林科技大学进行第1次苗期室内抗性鉴定。按照1.2.2方法将假禾谷镰孢菌

菌株JD062-5C在小米培养基中扩繁,将扩繁的病原菌和无菌土按照质量比1:500混合均匀,称取250 g装入直径9 cm、高7 cm的塑料花盆中。将144份供试小麦品种(系)和感病对照西农933种子消毒,选取籽粒饱满、大小一致的籽粒播种在塑料花盆中,每盆1个品种,每个品种播种10粒,每个品种重复3次。播种完后放置在昼温25 °C、夜温20 °C,光周期14 L:10 D、相对湿度60%~80%的人工气候培养箱中培养。培养期间采用底部灌浇方式浇水,试验期间不施肥。接种30 d后,当感病对照西农933严重发病时,调查144份小麦品种(系)的发病情况,对病情进行分级,计算病情指数。病情分级标准和病情指数计算公式同1.2.3。为了保证试验结果的可靠性,同年12月进行第2次苗期室内抗性鉴定,方法同上。考虑试验过程受不可抗环境因素的影响,取2次病情指数的平均数进行抗性评价。病情指数=

0,为免疫;0<病情指数≤10.00,为高抗;10.00<病情指数≤20.00,为中抗;20.00<病情指数≤30.00,为中感;病情指数>30.00,为高感(张鹏等,2009)。

1.3 数据分析

采用SPSS 16.0软件对试验数据进行统计分析,应用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 供试杀菌剂对小麦茎基腐病菌的室内毒力

12种杀菌剂对假禾谷镰孢菌菌丝生长均有一定的抑制效果,其中15%氰烯菌酯·5%己唑醇的抑制效果最明显,EC₅₀为0.002 mg/L,其次是6.6%嘧菌酯·1.1%咯菌腈·3.3%精甲霜灵、25 g/L咯菌腈和430 g/L戊唑醇,EC₅₀分别为0.016、0.069和0.099 mg/L,而500 g/L甲基硫菌灵的抑制效果最差,EC₅₀为4.165 mg/L(表1)。

表1 不同杀菌剂对假禾谷镰孢菌的室内毒力

Table 1 Laboratory virulence of different fungicides to *Fusarium pseudograminearum*

杀菌剂 Fungicide	毒力回归方程 Virulence regression equation	相关系数 Correlation coefficient	EC ₅₀ / (mg/L)
50%多菌灵 50% carbendazim	$y=3.373x+5.544$	0.965	0.690
30%戊唑醇·10%吡唑醚菌酯	$y=1.989x+5.480$	0.980	0.574
30% tebuconazole·10% pyraclostrobin	$y=1.384x+6.605$	0.888	0.069
25 g/L咯菌腈 25 g/L fludioxonil	$y=0.474x+4.964$	0.958	1.191
250 g/L嘧菌酯 250 g/L azoxystrobin	$y=1.618x+5.767$	0.945	0.336
3.7%吡唑醚菌酯·7.3%灭菌唑	$y=1.910x+6.918$	0.997	0.099
3.7% pyraclostrobin·7.3% triticonazole	$y=1.124x+5.254$	0.991	0.594
430 g/L戊唑醇 430 g/L tebuconazole	$y=0.529x+6.420$	0.867	0.002
30 g/L苯醚甲环唑 30 g/L difenoconazole	$y=1.481x+5.386$	0.993	0.549
15%氰烯菌酯·5%己唑醇	$y=1.665x+5.886$	0.982	0.294
15% phenamacril·5% hexaconazole	$y=1.170x+4.275$	0.977	4.165
7.4%噻虫嗪·0.8%咯菌腈·0.8%苯醚甲环唑	$y=1.412x+7.556$	0.984	0.016
7.4% thiamethoxam·0.8% fludioxonil·0.8% difenoconazole			
25 g/L咯菌腈·37.5 g/L精甲霜灵			
25 g/L fludioxonil·37.5 g/L metalaxyl-M			
500 g/L甲基硫菌灵 500 g/L polyantimycinl			
6.6%嘧菌酯·1.1%咯菌腈·3.3%精甲霜灵			
6.6% azoxystrobin·1.1% fludioxonil·3.3% metalaxyl-M			

x: 浓度的对数值; y: 抑菌率的概率值。x: Logarithmic value of concentration dose; y: probit of antibacterial rate.

2.2 供试杀菌剂对小麦生长的影响

12种杀菌剂拌种处理对小麦出苗均有影响,且出苗率均显著低于对照($P<0.05$),其中15%氰烯菌酯·5%己唑醇处理后的出苗率最低,为30.41%,显著低于其他杀菌剂处理($P<0.05$);而50%多菌灵和30 g/L苯醚甲环唑处理后的出苗率显著高于其他杀

菌剂处理($P<0.05$),对出苗率影响最小(表2)。15%氰烯菌酯·5%己唑醇和25 g/L咯菌腈处理后的株高均显著低于对照($P<0.05$),而25 g/L咯菌腈·37.5 g/L精甲霜灵处理后的株高显著高于对照($P<0.05$),其他处理的株高均与对照无显著差异(表2)。除30 g/L苯醚甲环唑处理后的根长显著低于对照外($P<$

0.05), 其他杀菌剂处理后的根长与对照均无显著差异(表2)。除3.7%吡唑醚菌酯·7.3%灭菌唑外, 其他杀菌剂处理后的鲜重均较对照显著降低($P<$

0.05), 尤以25 g/L咯菌腈和15%氰烯菌酯·5%己唑醇对鲜重的影响最大(表2)。

表2 不同杀菌剂处理对小麦生长的影响
Table 2 Effects of different fungicides on wheat growth

处理 Treatment	出苗率 Rate of emergence/%	株高 Plant height/cm	根长 Root length/cm	鲜重 Fresh weight/g
50% 多菌灵 50% carbendazim	81.89±2.65 b	20.93±1.43 ab	9.69±1.22 abc	1.18±0.12 d
30% 戊唑醇·10% 吡唑醚菌酯	71.52±3.79 cd	20.09±2.09 bc	10.91±1.64 abc	1.53±0.07 b
30% tebuconazole·10% pyraclostrobin				
25 g/L 咯菌腈 25 g/L fludioxonil	52.75±4.51 ef	14.85±1.29 d	9.07±0.89 cd	0.60±0.07 e
250 g/L 噻菌酯 250 g/L azoxystrobin	54.88±4.16 ef	20.16±0.86 bc	11.17±0.94 ab	1.33±0.07 c
3.7% 吡唑醚菌酯·7.3% 灭菌唑	65.89±3.51 cde	21.00±2.37 ab	10.40±0.94 abc	1.77±0.07 a
3.7% pyraclostrobin·7.3% triticonazole				
430 g/L 戊唑醇 430 g/L tebuconazole	61.68±3.06 de	20.31±0.62 abc	10.87±0.77 abc	1.44±0.08 bc
30 g/L 苯醚甲环唑 30 g/L difenoconazole	83.37±3.51 b	20.71±0.72 ab	7.68±0.67 d	1.32±0.08 c
15% 氰烯菌酯·5% 己唑醇	30.41±4.04 g	16.54±0.78 d	11.01±0.25 abc	0.70±0.09 e
15% phenamacril·5% hexaconazole				
7.4% 嘴虫嗪·0.8% 咯菌腈·0.8% 苯醚甲环唑	52.34±3.51 ef	21.55±1.01 ab	10.81±1.78 abc	1.52±0.09 b
7.4% thiamethoxam·0.8% fludioxonil·0.8% difenoconazole				
25 g/L 咯菌腈·37.5 g/L 精甲霜灵	76.36±3.00 bcd	22.19±0.98 a	9.35±1.12 bcd	1.52±0.06 b
25 g/L fludioxonil·37.5 g/L metalaxyl-M				
500 g/L 甲基硫菌灵 500 g/L polyantimycinl	80.52±4.62 bc	20.06±0.65 bc	11.62±2.27 a	1.44±0.07 bc
6.6% 噻菌酯·1.1% 咯菌腈·3.3% 精甲霜灵	44.85±0.58 f	18.65±0.88 c	9.21±0.81 bcd	1.46±0.07 b
6.6% azoxystrobin·1.1% fludioxonil·3.3% metalaxyl-M				
清水对照 Clean water control (CK)	92.00±2.65 a	19.97±2.25 bc	10.79±1.20 abc	1.81±0.07 a

表中数据为平均数±标准差。同列不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验差异显著($P<0.05$)。Data are mean±SD. Different letters in the same column indicate significant difference by Duncan's new multiple range test ($P<0.05$).

2.3 供试杀菌剂对小麦茎基腐的室内防治效果

15% 氰烯菌酯·5% 己唑醇拌种处理后小麦的病情指数最低, 为16.71, 防治效果最显著($P<0.05$), 达70.43%;其次是430 g/L戊唑醇、25 g/L咯菌腈·37.5 g/L精甲霜灵、6.6% 噻菌酯·1.1% 咯菌腈·3.3% 精甲霜灵和25 g/L 咯菌腈拌种处理, 病情指数分别为24.67、26.37、27.43和28.47, 防治效果相对较好, 分别为56.34%、53.34%、51.46%和49.62%; 500 g/L 甲基硫菌灵对小麦茎基腐病的效果最差, 病情指数最高, 为49.23, 防治效果仅为12.81%, 显著低于其他大部分杀菌剂($P<0.05$, 表3)。

2.4 小麦品种(系)对茎基腐病的抗性评价

在144份小麦品种(系)中, 仅西杂91、西农92和陕禾198三份小麦品种(系)对小麦茎基腐病表现为中感, 占总鉴定品种的2.08%, 其余141份小麦品种(系)对小麦茎基腐病均表现为高感, 占总鉴定品

种的97.92%, 未发现免疫和抗病品种(表4)。

3 讨论

王季锋等(2023)采用菌丝生长速率法对采自河南、河北和山东3省的假禾谷镰刀菌进行室内毒力测定, 发现其对氰烯菌酯、咯菌腈和戊唑醇均表现出较高的敏感性; 郭雨薇等(2022)研究发现噻菌酯对河南省小麦茎基腐病菌孢子萌发有明显的抑制作用; 李聪聪等(2023)研究表明咯菌腈与戊唑醇复配对假禾谷镰孢菌菌丝的毒力最强, 且效果明显优于2个单剂。本研究结果显示, 15% 氰烯菌酯·5% 己唑醇对假禾谷镰孢菌菌丝生长的抑制效果最好, 6.6% 噻菌酯·1.1% 咯菌腈·3.3% 精甲霜灵、25 g/L 咯菌腈和430 g/L 戊唑醇对假禾谷镰孢菌菌丝生长也有较好的抑制效果。此外, 本研究结果还证实6.6% 噻菌酯·1.1% 咯菌腈·3.3% 精甲霜灵复配制剂对假

禾谷镰孢菌的抑菌效果($EC_{50}=0.016$ mg/L)高于25 g/L咯菌腈($EC_{50}=0.069$ mg/L)和250 g/L嘧菌酯($EC_{50}=1.191$ mg/L)单剂处理,与已有研究结果一致。

表3 不同杀菌剂拌种处理对小麦茎基腐病的防治效果

Table 3 Control effects of seed dressing with different fungicides on wheat crown rot

Treatment	Disease index	Control effect/%
50% 多菌灵 50% carbendazim	42.78±4.67 bc	24.14±8.28 d
30% 戊唑醇·10% 吡唑醚菌酯 30% tebuconazole·10% pyraclostrobin	36.21±3.80 c	35.92±6.73 c
25 g/L 咯菌腈 25 g/L fludioxonil	28.47±5.16 d	49.62±9.15 b
250 g/L 嘧菌酯 250 g/L azoxystrobin	42.87±4.58 bc	24.14±8.12 d
3.7% 吡唑醚菌酯·7.3% 灭菌唑 3.7% pyraclostrobin·7.3% triticonazole	36.47±2.87 c	35.46±5.09 c
430 g/L 戊唑醇 430 g/L tebuconazole	24.67±3.44 d	56.34±6.10 b
30 g/L 苯醚甲环唑 30 g/L difenoconazole	42.47±4.48 bc	24.85±7.94 d
15% 氟烯菌酯·5% 己唑醇 15% phenamacril·5% hexaconazole	16.71±2.87 e	70.43±5.09 a
7.4% 噻虫嗪·0.8% 咯菌腈·0.8% 苯醚甲环唑	43.89±3.80 bc	22.17±6.73 de
7.4% thiamethoxam·0.8% fludioxonil·0.8% difenoconazole		
25 g/L 咯菌腈·37.5 g/L 精甲霜灵 25 g/L fludioxonil·37.5 g/L metalaxyl-M	26.37±3.06 d	53.34±5.43 b
500 g/L 甲基硫菌灵 500 g/L polyantimycinl	49.23±2.29 b	12.81±4.06 e
6.6% 嘧菌酯·1.1% 咯菌腈·3.3% 精甲霜灵	27.43±2.92 d	51.46±5.18 b
6.6% azoxystrobin·1.1% fludioxonil·3.3% metalaxyl-M		
清水对照 Clean water control (CK)	56.51±13.25 a	-

表中数据为平均数±标准差。同列不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验差异显著($P<0.05$)。Data are mean±SD. Different letters in the same column indicate significant difference by Duncan's new multiple range test ($P<0.05$)。

表4 144份小麦品种(系)对茎基腐病的苗期抗性鉴定结果

Table 4 Seedling resistance of 144 wheat varieties (lines) to crown rot

小麦品种(系) Wheat variety (line)	病情指数 Disease index		抗性评价 Resistance evaluation	小麦品种(系) Wheat variety (line)	病情指数 Disease index		抗性评价 Resistance evaluation
	6月 June	12月 Dec.			6月 June	12月 Dec.	
西杂91 Xiza 91	20.83	25.00	MS	咸麦283 Xianmai 283	37.50	66.67	HS
西农921 Xinong 921	23.81	27.50	MS	西农175 Xinong 175	34.29	70.37	HS
陕禾198 Shaanhe 198	26.00	28.57	MS	西农569 Xinong 569	46.03	58.72	HS
隆麦855 Longmai 855	20.98	31.11	HS	西农33 Xinong 33	45.83	59.26	HS
北李麦161 Beilimai 161	25.00	31.74	HS	西农931 Xinong 931	68.57	44.00	HS
西农718 Xinong 718	28.57	31.31	HS	金麦122 Jinmai 122	62.96	42.73	HS
农科1132 Nongke 1132	33.33	34.56	HS	西农932 Xinong 932	46.67	59.26	HS
谷道0366 Gudao 0366	27.16	34.44	HS	西农928 Xinong 928	73.33	33.33	HS
西农684 Xinong 684	35.56	33.33	HS	西农1125 Xinong 1125	37.14	70.37	HS
荣华908 Ronghua 908	33.33	37.66	HS	西农681 Xinong 681	40.74	26.49	HS
高旱三号 Gaohan 3	30.36	40.74	HS	西旱857 Xihan 857	42.00	28.57	HS
渭麦12号 Weimai 12	40.00	31.11	HS	合麦2号 Hemai 2	27.78	58.19	HS
西农1号 Xinong 1	40.00	33.33	HS	西农116 Xinong 116	50.00	59.25	HS
西农121 Xinong 121	25.00	37.04	HS	西农627 Xinong 627	50.00	60.00	HS
优选134 Youxuan 134	32.50	42.22	HS	西农852 Xinong 852	51.02	60.00	HS
西农819 Xinong 819	33.33	42.22	HS	西农238 Xinong 238	25.00	55.56	HS
西农650 Xinong 650	42.50	33.33	HS	伟隆183 Weilong 183	42.22	68.89	HS

续表4 Continued

小麦品种(系) Wheat variety (line)	病情指数 Disease index		抗性评价 Resistance evaluation	小麦品种(系) Wheat variety (line)	病情指数 Disease index		抗性评价 Resistance evaluation
	6月 June	12月 Dec.			6月 June	12月 Dec.	
9962	38.89	37.36	HS	西纯919 Xichun 919	46.67	73.33	HS
西农256 Xinong 256	44.00	33.33	HS	陕杂10号 Shaanza 10	47.62	64.44	HS
华垦麦9号 Huakenmai 9	22.22	38.89	HS	润良麦316 Runliangmai 316	61.11	44.00	HS
润麦3号 Runmai 3	44.44	33.33	HS	隆麦838 Longmai 838	48.88	64.44	HS
西农626 Xinong 626	35.56	42.50	HS	西旱161 Xihan 161	45.00	68.57	HS
农科68 Nongke 68	33.33	45.68	HS	中麦885 Zhongmai 885	60.00	55.55	HS
陕禾196 Shaanhe 196	45.23	33.99	HS	巨良19 Juliang 19	51.85	63.89	HS
秦育一号 Qinyu 1	38.10	42.22	HS	西农281 Xinong 281	51.85	64.44	HS
宝景麦186 Baojingmai 186	55.71	51.85	HS	宝景麦166 Baojingmai 166	61.11	47.22	HS
西研229 Xiyan 229	50.00	32.72	HS	金三10号 Jinsan 10	52.50	66.66	HS
洽选1号 Qiaxuan 1	36.26	46.67	HS	永顺189 Yongshun 189	57.14	62.22	HS
西杂22 Xiza 22	48.15	34.92	HS	凌麦1606 Lingmai 1606	58.33	61.11	HS
福麦6号 Fumai 6	51.11	32.10	HS	小偃33 Xiaoyan 33	63.89	55.55	HS
先耕麦588 Xiangengmai 588	63.33	44.44	HS	华垦麦8号 Huakenmai 8	48.57	62.96	HS
咸麦12 Xianmai 12	48.00	36.00	HS	渭麦10号 Weimai 10	62.86	57.55	HS
民阳819 Minyang 819	32.00	52.38	HS	职院171 Zhiyuan 171	49.21	71.42	HS
西农279 Xinong 279	32.73	52.00	HS	西农333 Xinong 333	71.43	51.02	HS
西农908 Xinong 908	45.24	40.00	HS	郝麦18 Haomai 18	77.78	45.00	HS
大唐68 Datang 68	60.00	26.38	HS	西农186 Xinong 186	45.71	77.14	HS
西农1329 Xinong 1329	38.78	48.15	HS	西农837 Xinong 837	53.33	70.37	HS
秦麦158 Qinmai 158	40.00	47.62	HS	西农936 Xinong 936	38.78	85.19	HS
西农916 Xinong 916	52.77	35.73	HS	晋麦47 Jinmai 47	71.43	54.55	HS
明岐1639 Mingqi 1639	44.44	27.78	HS	渭丰163 Weifeng 163	68.89	58.18	HS
宝景麦718 Baojingmai 718	27.78	46.67	HS	宝研麦9号 Baoyanmai 9	27.77	63.88	HS
晟元818 Shengyuan 818	37.04	51.85	HS	西农835 Xinong 835	60.00	70.37	HS
金丰208 Jinfeng 208	48.89	41.44	HS	西纯998 Xichun 998	64.29	66.67	HS
西农369 Xinong 369	42.00	48.57	HS	高旱2号 Gaohan 2	71.43	60.00	HS
大地532 Dadi 532	48.89	42.22	HS	孟麦59 Mengmai 59	50.00	81.48	HS
秦农34 Qinnong 34	46.67	44.44	HS	喜麦303 Ximai 303	28.89	66.67	HS
旱麦99 Hanmai 99	48.15	43.43	HS	铜麦8号 Tongmai 8	28.00	66.67	HS
西农363 Xinong 363	38.57	53.33	HS	中麦578 Zhongmai 578	27.78	66.67	HS
西农131 Xinong 131	47.62	44.44	HS	小偃22 Xiaoyan 22	60.00	73.33	HS
西杂82 Xiza 82	34.92	57.14	HS	航麦9号 Hangmai 9	64.44	68.89	HS
旱麦908 Hanmai 908	50.00	42.85	HS	西高9963 Xigao 9963	87.30	46.23	HS
西农857 Xinong 857	30.10	62.96	HS	西农998 Xinong 998	70.00	65.42	HS
秦麦168 Qinmai 168	33.33	55.55	HS	西农943 Xinong 943	69.14	66.67	HS
西农1860 Xinong 1860	31.11	62.96	HS	西农136 Xinong 136	73.33	64.44	HS
谷道0399 Gudao 0399	51.79	42.86	HS	鑫博188 Xinbo 188	23.14	69.44	HS
高科1128 Gaoke 1128	54.44	40.47	HS	西农161 Xinong 161	44.44	94.44	HS
西农812 Xinong 812	44.44	51.11	HS	秦鑫369 Qinxin 369	83.33	55.56	HS
西农99 Xinong 99	36.00	59.60	HS	伟隆187 Weilong 187	60.00	80.00	HS
中麦570 Zhongmai 570	50.00	46.67	HS	兴民918 Xingmin 918	23.81	70.37	HS
荣华336 Ronghua 336	41.27	55.55	HS	西农833 Xinong 833	85.71	56.67	HS
陇旱101 Longhan 101	41.82	55.56	HS	西农865 Xinong 865	66.67	77.78	HS

续表4 Continued

小麦品种(系) Wheat variety (line)	病情指数 Disease index		抗性评价 Resistance evaluation	小麦品种(系) Wheat variety (line)	病情指数 Disease index		抗性评价 Resistance evaluation
	6月 June	12月 Dec.			6月 June	12月 Dec.	
西高9961 Xigao 9961	47.50	50.00	HS	西研一号 Xiyan 1	68.00	77.78	HS
西农128 Xinong128	50.00	47.69	HS	西农926 Xinong 926	80.00	68.89	HS
大地531 Dadi 531	44.44	53.33	HS	阎麦3522 Yanmai 3522	54.17	96.29	HS
长武636 Changwu 636	60.00	38.89	HS	天瑞6号 Tianrui 6	73.21	79.31	HS
秦麦208 Qinmai 208	60.00	39.58	HS	西农328 Xinong 328	77.78	75.93	HS
西麦159 Ximai 159	53.33	46.67	HS	西农933 Xinong 933	86.67	68.89	HS
喜麦309 Ximai 309	41.67	60.00	HS	隆威187 Longwei 187	85.00	74.07	HS
旱麦906 Hanmai 906	27.27	51.11	HS	渭丰T03 Weifeng T03	90.48	68.89	HS
西农119 Xinong 119	65.00	38.38	HS	小偃101 Xiaoyan 101	67.86	94.44	HS
武农144 Wunong 144	33.33	70.37	HS	咸麦519 Xianmai 519	86.67	77.78	HS
润麦28 Runmai 28	37.04	66.67	HS	西安139 Xi'an 139	74.07	94.44	HS

MS: 中感; HS: 高感。MS: Moderate susceptible; HS: highly susceptible.

本研究结果显示,12种杀菌剂拌种处理对小麦出苗率和鲜重影响较大,对株高和根长的影响相对较小,其中12种杀菌剂处理后的小麦出苗率均显著低于对照;除3.7%吡唑醚菌酯·7.3%灭菌唑处理外,其他杀菌剂处理后的鲜重均显著低于对照;15%氰烯菌酯·5%己唑醇和25 g/L咯菌腈处理后的株高较对照显著降低,而25 g/L咯菌腈·37.5 g/L精甲霜灵处理后的株高则较对照显著增加;除30 g/L苯醚甲环唑外,其他杀菌剂处理后的根长均与对照无显著差异。李聪聪等(2023)研究表明咯菌腈与戊唑醇复配制剂对小麦的生长有一定的促生作用。徐飞等(2022)发现25 g/L咯菌腈拌种处理后的株高显著增加,而25%氰烯菌酯拌种处理后的单株鲜重和干重则显著降低;而本研究结果显示,25 g/L咯菌腈和15%氰烯菌酯·5%己唑醇拌种处理后的株高和鲜重均显著降低,与前人研究结果不一致,究其原因可能是药剂拌种施用浓度不同。

徐飞等(2022)研究表明60 g/L戊唑醇、25 g/L咯菌腈和25%氰烯菌酯拌种处理能显著降低小麦苗期病株率,防治效果为63.6%~100.0%。王宁堂等(2023)研究同样表明氰烯菌酯对小麦茎基腐病的防治效果均在80.0%以上。张鹏等(2016)采用不同药剂分别于小麦苗期和返青期防治茎基腐病,其中戊唑醇·咪鲜胺合剂、多·酮合剂、戊唑醇和苯甲丙环唑有较好的防治效果,播种时药剂拌种可显著降低小麦苗期茎基腐病的发病率。郭雨薇等(2022)发现在离体和温室条件下嘧菌酯均对小麦茎基腐病有很好

的防治效果。本研究结果表明,15%氰烯菌酯·5%己唑醇拌种的室内防治效果最显著,达到70.43%,430 g/L戊唑醇、25 g/L咯菌腈·37.5 g/L精甲霜灵、6.6%嘧菌酯·1.1%咯菌腈·3.3%精甲霜灵、25 g/L咯菌腈的防治效果都在50.00%左右,与前人研究结果基本一致。本研究中部分防治效果较好的杀菌剂对小麦的出苗和生长有一定的影响,因此还需要进一步对最佳拌种浓度进行研究。同时,小麦茎基腐病的发病规律复杂,受环境影响较大(Smiley, 2019),因此室内筛选出的有效药剂还需结合田间试验进一步验证。

本研究通过对144份陕西省区试小麦品种(系)进行苗期人工接种鉴定发现,所有供试品种均表现中感和高感,无免疫和抗病品种。杨云等(2015)对黄淮麦区主推小麦品种进行抗性鉴定,未发现对小麦茎基腐病高抗或中抗的小麦品种,与本研究结果一致。赵凯等(2018)用苗期基部滴注法对河南省60份推广小麦品种进行抗性鉴定,仅10.0%小麦品种对茎基腐病表现为中抗或中感,未发现免疫及高抗品种;王会伟等(2023)和金京京等(2020)分别对河南省区试小麦品种和我国主要麦区小麦品种进行抗茎基腐病鉴定,发现95.7%和84.0%的小麦品种对茎基腐病表现感病,这也再次证实我国小麦主推品种和后备区试品种对小麦茎基腐病的抗性差,抗性品种匮乏。因此,应继续进行抗源的挖掘和创制,发掘优良抗病种质材料并利用其改良小麦品种抗性,提高我国小麦品种的整体抗茎基腐病水平。

参考文献 (References)

- Chakraborty S, Liu CJ, Mitter V, Scott JB, Akinsanmi OA, Ali S, Dill-Macky R, Nicol J, Backhouse D, Simpfendorfer S. 2006. Pathogen population structure and epidemiology are keys to wheat crown rot and *Fusarium* head blight management. *Australasian Plant Pathology*, 35(6): 643–655
- Dyer AT, Johnston RH, Hogg AC, Johnston JA. 2009. Comparison of pathogenicity of the *Fusarium* crown rot (FCR) complex (*F. culmorum*, *F. pseudograminearum* and *F. graminearum*) on hard red spring and durum wheat. *European Journal of Plant Pathology*, 125(3): 387–395
- Fan XF. 2021. Analysis of population composition and genetic structure of pathogens causing *Fusarium* crown rot in China. PhD thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Science (in Chinese) [范学锋. 2021. 中国小麦茎基腐病病原菌群体组成及遗传结构分析. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院]
- Gao F, Xie Y, Pan X, Li HL, Zhang XT, Wu ZJ, Guan X. 2023. Identification and virulence determination of pathogens of wheat crown rot in Henan Province in 2019—2020. *Journal of Plant Protection*, 50(2): 298–305 (in Chinese) [高飞, 谢源, 潘鑫, 李洪连, 张晓婷, 吴祖建, 关雄. 2019—2020年河南省小麦茎基腐病病原菌鉴定及致病力测定. 植物保护学报, 50(2): 298–305]
- Guo YW, Xu JQ, Kang HJ, Yin XR, Liu SM, Chen GQ. 2022. Inhibitory activity of azoxystrobin against the pathogenic fungi of wheat crown rot in Henan Province and its control efficacy on the disease. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 24(6): 1409–1416 (in Chinese) [郭雨薇, 徐建强, 穆豪佳, 殷消茹, 刘圣明, 陈根强. 2022. 噪菌酯对河南省小麦茎基腐病菌的抑制活性及对病害的防治效果. 农药学学报, 24(6): 1409–1416]
- He XL, Zhou HF, Yuan HX, Shi Y, Sun BJ, Li HL. 2016. Genetic diversity of *Fusarium pseudograminearum* collected from Henan and Hebei winter wheat regions. *Scientia Agricultura Sinica*, 49(2): 272–281 (in Chinese) [贺小伦, 周海峰, 袁虹霞, 施艳, 孙炳剑, 李洪连. 2016. 河南和河北冬小麦区假禾谷镰孢的遗传多样性. 中国农业科学, 49(2): 272–281]
- Jin JJ, Qi YZ, Wang L, Wang FF, Yan CM, Li BY, Xie CJ, Zhen WC, Ma J. 2020. Evaluation of Chinese wheat germplasm resources for crown rot resistance. *Journal of Plant Genetic Resources*, 21(2): 308–313 (in Chinese) [金京京, 齐永志, 王丽, 王芳芳, 闫翠梅, 李保云, 解超杰, 甄文超, 马骏. 2020. 小麦种质对茎基腐病抗性评价及优异种质筛选. 植物遗传资源学报, 21(2): 308–313]
- Kang GQ, Wang W, Su LK, Xue WW, Zhang H. 2021. Screening of seed dressing agents for controlling wheat stem rot at wheat sowing date. *China Plant Protection*, 41(11): 82–83, 115 (in Chinese) [康国强, 王卫, 苏立克, 薛伟伟, 张航. 2021. 麦播期防治小麦茎基腐病的拌种药剂筛选. 中国植保导刊, 41(11): 82–83, 115]
- Kazan K, Gardiner DM. 2018. *Fusarium* crown rot caused by *Fusarium pseudograminearum* in cereal crops: recent progress and future prospects. *Molecular Plant Pathology*, 19(7): 1547–1562
- Knight NL, Sutherland MW. 2013. Spread of *Fusarium pseudograminearum* in wheat seedling tissues from a single inoculation point. *Australasian Plant Pathology*, 42(5): 609–615
- Li CC, Wu YX, Wang YJ, Ji LJ, Han S, Kong LX. 2023. Effects of fludioxonil and tebuconazole mixtures on mycelial growth and disease of *Fusarium* crown rot. *Acta Phytopathologica Sinica*, 53(3): 498–507 (in Chinese) [李聪聪, 吴玉星, 王亚娇, 纪莉景, 韩森, 孔令晓. 2023. 咯菌腈和戊唑醇复配对假禾谷镰孢菌丝生长及所致病害的影响. 植物病理学报, 53(3): 498–507]
- Lin QT, Yang LR, Xia MC, Sun RH, Li HL, Zhang J. 2020. Isolation, identification and control efficiency of biocontrol strain YB-161 against wheat crown rot. *Journal of Plant Protection*, 47(4): 939–948 (in Chinese) [林琪童, 杨丽荣, 夏明聪, 孙润红, 李洪连, 张洁. 2020. 小麦茎基腐病生防菌株YB-161的分离鉴定及防效测定. 植物保护学报, 47(4): 939–948]
- Obanon F, Chakraborty S. 2014. Aetiology and toxicogenicity of *Fusarium graminearum* and *F. pseudograminearum* causing crown rot and head blight in Australia under natural and artificial infection. *Plant Pathology*, 63(6): 1218–1229
- Poole GJ, Smiley RW, Paulitz TC, Walker CA, Carter AH, See DR, Garland-Campbell K. 2012. Identification of quantitative trait loci (QTL) for resistance to *Fusarium* crown rot (*Fusarium pseudograminearum*) in multiple assay environments in the Pacific Northwestern US. *Theoretical and Applied Genetics*, 125(1): 91–107
- Qi JY, Gao GP, Zhang W. 2010. Toxicity test of fungicides to *Schizophyllum commune*. *Northern Horticulture*, (24): 103–105 (in Chinese) [祁金玉, 高国平, 张伟. 2010. 几种杀菌剂对裂褶菌的室内毒力测定. 北方园艺, (24): 103–105]
- Smiley RW. 2019. *Fusarium* crown rot whitehead symptom as influenced by wheat crop management and sampling date. *Plant Disease*, 103(10): 2612–2623
- Smiley RW, Gourlie JA, Easley SA, Patterson LM, Whittaker RG. 2005. Crop damage estimates for crown rot of wheat and barley in the Pacific Northwest. *Plant Disease*, 89(6): 595–604
- Wang HW, Li GL, Gao F, Li CY, Li JZ, Zhang TX, Zhang JZ. 2023. Evaluation on resistance of 308 wheat lines to crown rot in Henan Province. *Journal of Triticeae Crops*, 43(1): 46–55 (in Chinese) [王会伟, 李国领, 高飞, 李春盈, 李居政, 张天兴, 张建周. 2023. 河南省308份小麦新品系的茎基腐病抗性评价. 麦类作物学报, 43(1): 46–55]
- Wang JF, Wang SS, Xu JS, Xu J, Feng J, Zhang AX, Tian HY, Wang LG, Huang JX, Zhang H. 2023. Sensitivity of *Fusarium pseudograminearum* isolates to three fungicides in Huang-Huai wheat region. *Plant Protection*, 49(3): 333–337 (in Chinese) [王季峰, 王珊珊, 许景升, 徐进, 冯洁, 张爱香, 田海月, 王连刚, 黄俊霞, 张昊. 2023. 黄淮麦区假禾谷镰刀菌对3种杀菌剂敏感性测定. 植物保护, 49(3): 333–337]
- Wang NT, Xu X, Gao C, He WJ, Wang JL. 2023. Field control effect of four pesticides on wheat stem rot disease by seed dressing. *Agricultural Engineering*, 13(2): 134–138 (in Chinese) [王宇堂, 许鑫, 高潮, 何蔚娟, 王军利. 2023. 4种药剂拌种对小麦茎基腐病

- 的田间防治效果. 农业工程, 13(2): 134–138]
- Wei HX, Guo HP, He YH, Feng XJ, Shi JN. 2021. Techniques for control of wheat stalk rot in Shaanxi. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 67(1): 1–3, 17 (in Chinese) [魏会新, 郭海鹏, 贺亚红, 冯小军, 史静妮. 2021. 陕西省小麦茎基腐病防控技术研究. 陕西农业科学, 67(1): 1–3, 17]
- Wu B, Guo X, Zhang M, Jiang SS, Xin ZM, Wang SJ, Xin XQ. 2018. Identification and pathogenicity of pathogens associated with the wheat crown rot in the southwest of Shandong Province. Journal of Triticeae Crops, 38(3): 358–365 (in Chinese) [吴斌, 郭霞, 张眉, 姜珊珊, 辛志梅, 王升吉, 辛相启. 2018. 鲁西南地区小麦茎基腐病病原菌鉴定及其致病力分析. 麦类作物学报, 38(3): 358–365]
- Xu F, Han ZH, Song YL, Liu W, Zhou YL, Li LJ, Wang JM, Qin ZY, Cheng YJ. 2022. Effects of fungicides on *Fusarium* crown rot of wheat in field. Plant Protection, 48(2): 296–302 (in Chinese) [徐飞, 韩自行, 宋玉立, 刘伟, 周益林, 李丽娟, 王俊美, 秦志英, 程燕君. 2022. 几种杀菌剂对小麦茎基腐病的防治效果. 植物保护, 48(2): 296–302]
- Xu F, Li SF, Shi RJ, Wang JM, Liu JH, Zhou YL, Song YL, Zhao GJ, Zhang JJ, Li YH. 2021. Evaluation of resistances to *Fusarium* crown rot caused by *Fusarium pseudograminearum* in commercial wheat cultivars of Huanghuai wheat growing region and toxin accumulation in stems and kernels. Acta Phytopathologica Sinica, 51(6): 912–920 (in Chinese) [徐飞, 李淑芳, 石瑞杰, 王俊美, 刘继红, 周益林, 宋玉立, 赵国建, 张姣姣, 李亚红. 2021. 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. 植物病理学报, 51(6): 912–920]
- Xu F, Song YL, Zhou YL, Zhang H, Wang JM, Li YH, Han ZH. 2016. Occurrence dynamics and characteristics of *Fusarium* root and crown rot of wheat in Henan Province during 2013–2016. Plant Protection, 42(6): 126–132 (in Chinese) [徐飞, 宋玉立, 周益林, 张昊, 王俊美, 李亚红, 韩自行. 2016. 2013—2016年河南省小麦茎基腐病的发生危害情况及特点. 植物保护, 42(6): 126–132]
- Xu XW, Yang YH. 2021. Experimental demonstration of chemical control of wheat stem rot. Agriculture of Henan, (28): 28–29 (in Chinese) [徐小娃, 杨艳会. 2021. 小麦茎基腐病药剂防治试验示范. 河南农业, (28): 28–29]
- Yang Y, He XL, Hu YF, Hou Y, Niu YJ, Dai JL, Yuan HX, Li HL. 2015. Resistance of wheat cultivars in Huang-Huai Region of China to crown rot caused by *Fusarium pseudograminearum*. Journal of Triticeae Crops, 35(3): 339–345 (in Chinese) [杨云, 贺小伦, 胡艳峰, 侯莹, 牛亚娟, 代君丽, 袁虹霞, 李洪连. 2015. 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. 麦类作物学报, 35(3): 339–345]
- Zhang J, Zhu WQ, Goodwin PH, Lin QT, Xia MC, Xu W, Sun RH, Liang J, Wu C, Li HL, et al. 2022. Response of *Fusarium pseudograminearum* to biocontrol agent *Bacillus velezensis* YB-185 by phenotypic and transcriptome analysis. Journal of Fungi, 8(8): 763
- Zhang P, Deng YY, Yang XM, Zhou MP, Ma HX. 2016. Identification of wheat stem rot pathogen and analysis of control effect of different pesticides. Jiangsu Agricultural Sciences, 44(11): 142–144 (in Chinese) [张鹏, 邓渊钰, 杨学明, 周森平, 马鸿翔. 2016. 小麦茎基腐病菌鉴定及不同药剂防治效果分析. 江苏农业科学, 44(11): 142–144]
- Zhang P, Huo Y, Zhou MP, Yao JB, Ma HX. 2009. Identification and evaluation of wheat germplasm resistance to crown rot caused by *Fusarium graminearum*. Journal of Plant Genetic Resources, 10(3): 431–435 (in Chinese) [张鹏, 霍燕, 周森平, 姚金保, 马鸿翔. 2009. 小麦禾谷镰孢菌茎基腐病抗源的筛选与评价. 植物遗传资源学报, 10(3): 431–435]
- Zhao K, Xu F, Song YL, Wang JM, Zhang JJ, Han ZH. 2018. Identification and evaluation of resistance of 60 wheat varieties (lines) to stem rot in Henan Province. China Seed Industry, (6): 53–56 (in Chinese) [赵凯, 徐飞, 宋玉立, 王俊美, 张姣姣, 韩自行. 2018. 河南省60个小麦品种(系)对茎基腐病的抗性鉴定与评价. 中国种业, (6): 53–56]
- Zhou HF, Yang Y, Niu YJ, Yuan HX, Li HL. 2014. Occurrence and control methods of crown rot of wheat. Journal of Henan Agricultural Sciences, 43(5): 114–117 (in Chinese) [周海峰, 杨云, 牛亚娟, 袁虹霞, 李洪连. 2014. 小麦茎基腐病的发生动态与防治技术. 河南农业科学, 43(5): 114–117]
- Zhu YQ, Jin PF, Wang Q, Zhao XN, Zhao ZH, Li Q, Wang BT. 2022. Species identification and pathogenicity analysis of the pathogens causing wheat crown rot in Shaanxi Province. Journal of Plant Protection, 49(3): 824–831 (in Chinese) [朱运启, 靳鹏飞, 王峭, 赵小宁, 赵中华, 李强, 王保通. 2022. 陕西省小麦茎基腐病病原菌鉴定及其致病力分析. 植物保护学报, 49(3): 824–831]

(责任编辑:张俊芳)