不同杀菌剂防治小麦赤霉病及减少籽粒中 DON 毒素积累的效果

徐 飞， 王俊美， 杨共强， 宋玉立*， 赵 凯，
韩自行， 李丽娟， 刘露露， 李亚红， 张姣姣

（河南省农业科学院植物保护研究所，农业部华北南部作物有害生物综合治理重点实验室，郑州 450002）

摘要 为明确不同杀菌剂防治小麦赤霉病和减少小麦籽粒中 DON(脱氧雪腐镰刀菌烯醇)毒素积累的效果，于大田人工接菌条件下进行了不同杀菌剂对小麦赤霉病的防治试验，并于收获期测定了不同药剂处理的小麦籽粒中 DON 毒素含量。结果表明：两种处理方式下，50%多菌灵 WP，30%多·酮 SC，25%戊唑醇 WP，25%氰烯菌酯 SC 和 70%甲基硫菌灵 WP 处理中，除先喷药后接菌条件下 25%戊唑醇 WP 在病粒率和籽粒中 DON 积累上没有显著防治效果，接菌后 1 d 喷药条件下 50%多菌灵 WP、25%戊唑醇 WP 在病粒率上没有显著防治效果；30%多·酮 SC 在病粒率和籽粒中 DON 积累上没有显著防治效果外，各处理对小麦的病穗率、病情指数、病粒率和籽粒中 DON 积累都有显著的防治效果($P<0.05$)。各处理的病穗率防效在 42.4%～83.5%，病情指数防效在 44.9%～88.2%，病粒率防效在 34.7%～69.4%，籽粒中 DON 防效在 48.0%～86.9%。上述几种杀菌剂具有明显的保护作用，其在先喷药后接菌条件下的防治效果均明显优于接菌后 1 d 喷药的防治效果。两种处理方式下，30%己唑醇悬浮剂、25%嘧菌酯悬浮剂和 12.5%烯唑醇可湿性粉剂处理在病穗率、病情指数、病粒率和籽粒中 DON 积累与清水对照处理没有显著性差异($P>0.05$)。

关键词 小麦； 赤霉病； 杀菌剂； 防治效果； 脱氧雪腐镰刀菌烯醇

中图分类号： S 435.121.45 **文献标识码：** B **DOI：** 10.16688/j.zwbh.2017283

Effect of fungicides on Fusarium head blight and deoxynivalenol content in wheat grain

XU Fei， WANG Junmei， YANG Gongqiang， SONG Yuli， ZHAO Kai，
HAN Zihang， LI Lijuan， LIU Lulu， LI Yahong， ZHANG Jiaojiao

(*Institute of Plant Protection*, *Henan Academy of Agricultural Sciences*, *Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in the Southern Part of North China*, *Ministry of Agriculture*, *Zhengzhou* 450002, *China*)

Abstract The control effect of different fungicides against Fusarium head blight were evaluated by spraying on the surface of plant before or after inoculation with *Fusarium graminearum* in the field. Deoxynivalenol (DON) concentration in kernel were also determined after the wheat harvest. The results revealed that tebuconzole 25% WP treatment had no significant control effect on disease kernel rate and DON content under the condition of treated before inoculation; tebuconzole 25% WP, carbendazim・triadimefon 30% SC, and carbendazim 50% WP treatment had no significant control effect on disease kernel rate under the condition of treated after inoculation, and there was no significant control effect of carbendazim・triadimefon 30% SC treatment on DON accumulation in grains. Except the above-mentioned situation, phenamacril 25% SC, tebuconzole 25% WP, carbendazim・triadimefon 30% SC, carbendazim 50% WP, and thiophanate-methyl 70% WP could significantly reduce the percentage of diseased ear and kernel, disease index and DON content. The control effect was 42.4%－83.5% for diseased ear rate, 44.9%－88.2% for disease index, 34.7%－69.4% for disease kernel rate and 48.0%－86.9% for DON content. The diseased ear rate, disease kernel rate, disease index and DON content of wheat treated by hexaconazole 30% SC, azoxystrobin 25% SC and diniconazole 12.5% WP had no significant difference with those of the control ($P>0.05$) under both treatment ways.

Key words wheat; Fusarium head blight; fungicide; control effect; deoxynivalenol

收稿日期： 2017－08－01 **修订日期：** 2017－09－15
基金项目： 国家公益性行业(农业)科研专项(201303016)；国家重点研发计划(2016YFD0300705)；科技基础性工作专项(2013FY113200)；河南省小麦产业技术体系(S2010-01-05)
* 通信作者 E-mail：songyuli2000@126.com

小麦赤霉病(Fusarium head blight)是由禾谷镰刀菌 *Fusarium graminearum* Schwabe 引起的小麦上的重要病害,不仅引起严重的产量损失,而且感病籽粒中产生的毒素危害人类健康,引起牲畜不同程度的中毒反应[1-3]。脱氧雪腐镰刀菌烯醇(DON)是禾谷镰刀菌产生的一种主要毒素,我国、北美和欧盟对 DON 在小麦制品中的残留均制定了限量标准。我国小麦质量标准规定,赤霉病粒最大允许含量为 4%,食品中 DON 限量指标为 1 mg/kg[4],猪、犊牛和泌乳期动物的配合饲料中 DON≤1 mg/kg,牛和家禽配合饲料中 DON≤5 mg/kg[5]。美国、欧盟、奥地利和加拿大食品中 DON 限量指标分别为 1 mg/kg、0.5 mg/kg、0.5 mg/kg 和 2 mg/kg[6]。

近年来,小麦赤霉病在华北冬麦区发生越来越严重,特别是 2012 年和 2016 年在河南省大发生,造成严重损失[7]。种植抗病品种是防治小麦赤霉病既经济又安全的方法,但在目前华北麦区缺乏小麦赤霉病抗病品种的情况下,使用药剂防治仍是十分必要的[8]。虽然已有学者对防治小麦赤霉病的杀菌剂进行筛选和效果评价,但是结合籽粒中 DON 的积累的防效评价还鲜有报道[9-13]。

本研究选取市场上常用的几种杀菌剂,在大田人工接菌条件下评价了其对赤霉病防治效果和减少籽粒中 DON 毒素积累效果,以期为生产上小麦赤霉病的药剂防治提供科学依据。

1　材料和方法

1.1　材料

供试小麦品种:'金地 828',亲本为'周麦 16'/'百农矮抗 58',属半冬性中晚熟品种,高感小麦赤霉病。

供试杀菌剂:50%多菌灵可湿性粉剂(WP),25%戊唑醇可湿性粉剂(WP),25%氰烯菌酯悬浮剂(SC),70%甲基硫菌灵可湿性粉剂(WP),30%己唑醇悬浮剂(SC),25%嘧菌酯悬浮剂(SC),12.5%烯唑醇可湿性粉剂(WP)和 30%多·酮悬浮剂(SC),共 6 种单剂和 1 个复配剂。其使用剂量为厂家推荐剂量(表 1)。

表 1　试验所用农药信息

Table 1　The information of the fungicide of this study

杀菌剂 Fungicide	剂量 Dose	生产厂家 Manufacturer
50%多菌灵 WP　carbendazim 50% WP	1 500 g/hm²	江苏蓝丰生物化工股份有限公司
30%多·酮 SC　carbendazim·triadimefon 30% SC	600 mL/hm²	河南绿保科技发展有限公司
25%戊唑醇 WP　tebuconzole 25% WP	450 g/hm²	江苏盐城双宁农化有限公司
25%氰烯菌酯 SC　phenamacril 25% SC	2 250 g/hm²	江苏省农药研究所股份有限公司
70%甲基硫菌灵 WP　thiophanate-methyl 70% WP	1 500 g/hm²	陕西上格之路生物科学有限公司
30%己唑醇 SC　hexaconazole 30% SC	150 mL/hm²	陕西上格之路生物科学有限公司
25%嘧菌酯 SC　azoxystrobin 25% SC	450 mL/hm²	先正达(中国)投资有限公司
12.5%烯唑醇 WP　diniconazole 12.5% WP	600 g/hm²	江苏建农农药化工有限公司

1.2　田间试验设计

试验地点在河南省焦作市温县黄庄镇(经度:112.959 4°,纬度:34.980 2°,海拔 112.8 m),每个处理 3 个重复,每个小区宽 2 m,长 6 m,行距 20 cm,播种量为 150 kg/hm²,按常规措施进行田间管理。

1.3　接种物的培养与田间接种

试验菌株为 5 株毒素化学型均为 15ADON 的禾谷镰刀菌,分别为 14LY9-2-4、14AY1-2、14YY1-3、14KF3-8、14ZK1-4。将−80℃冻存的禾谷镰刀菌菌株在新鲜的 PDA 平板上活化,25℃黑暗条件下培养 3 d,打取 10 块直径 5 mm 的边缘菌丝块转接到 150 mL的羧甲基纤维素酯液体培养基(CMC)中,置于恒温摇床上,25℃ 150 r/min 摇培 5 d,每个菌株 10 瓶(150 mL CMC/250 mL 三角瓶)。分别将供试菌株的分生孢子悬浮液用双重纱布过滤,用血球计数板计数,记录各菌株分生孢子浓度并置于−20℃的冰箱保存。使用前将各菌株等孢子量混合,用水调整分生孢子浓度为 5×10^4 个/mL 用于田间喷雾接种。于小麦扬花盛期时(Zadoks[14]=69 即 90%以上扬花)使用手持式电动喷雾器(型号:3WBS-16A2,西安乐鑫电子科技有限公司),统一进行田间接种,分生孢子悬浮液浓度为 5×10^4 个/mL,喷雾量 50 mL/m²。接种前先喷水保湿,用水量为 375 L/ hm²,接种后连续 5 d 每天使用手持式电动喷雾机喷清水 2 次进行保湿以保证发病条件,每次用水量为 750 L/ hm²。喷药采用手持式气压喷雾器(1.2 L 气压式喷雾器)均匀喷雾。评价药剂保护效果的试验采用先喷药而后马上喷菌;评价药剂治疗效果的试验采用先喷菌,1 d 后喷药。喷菌和喷药的时间选择下午 4:00 点后,在晴天无风条件下喷雾。

1.4 病害调查和采后分析

接种 21 d 后调查病穗率和病级，调查时使用 0.667 m^2的样方框，每个小区 4 个重复，记录框内的病穗数和病级。病级记载标准为：0 级，无发病小穗；1 级，零星小穗发病，发病小穗数占总小穗数的 25.0%以下；2 级，发病小穗占总小穗数的 25.0%～50.0%；3 级，发病小穗占总小穗数的 50.1%～75.0%；4 级，发病小穗占总小穗数的 75.0%以上。病穗率、病情指数和防治效果计算方法如下：

$$病穗率=\frac{病穗数}{总穗数}\times 100\%;$$

$$病情指数=\frac{\sum(各病级穗数\times病级数)}{总穗数\times 4}\times 100;$$

$$防治效果=\frac{清水对照参数-药剂处理参数}{清水对照参数}\times 100\%。$$

参数＝病穗率、病情指数和 DON 含量。

小麦成熟后，所有处理的每个小区取 3 个样方（0.667 m^2），使用脱粒机脱粒，脱粒晾干后分别装在网袋中并称量；每袋中取两个 500 粒麦粒分别记录其中的病粒数。将各处理的籽粒样本用德国莱驰粉碎仪（ZM200，1.5 mm 不锈钢环筛）进行粉碎，过 20 目筛，称取粉碎后的样本 5 g 装入 50 mL 离心管放入 4℃冰箱中备用。每个样品粉碎后，严格清理以避免相互污染。

将装有 5 g 样品粉末的 50 mL 离心管中加入 25 mL 蒸馏水，用力振荡 3 min，并使用 Whatman No.1 滤纸过滤，收集滤液，然后稀释 10、100、1 000 和 10 000 倍备用。使用 RIDASCREEN® DON 酶联免疫法呕吐毒素定量检测试剂盒（R5906）检测样品中 DON 毒素，操作步骤按照试剂盒说明书进行。标准样品浓度为 0、3.7、11.1、33.3、100 μg/L。在酶标仪上同时测定标准样品和待测样品 450 nm 处的吸光度，每个样品重复测定 3 次。当滤液中 DON 毒素浓度过高或者过低而超出检测范围时，使用其不同倍数的稀释液进行测定。使用 R-Biopharm 的应用软件 RIDA® SOFT Win（Z9999）进行结果评估。并按照单次检测的 Logit/log 曲线进行分析，然后计算 3 次检测结果的平均值。

2 结果与分析

2.1 先喷药后接菌条件下供试杀菌剂对小麦赤霉病的防治效果

田间试验调查结果表明，清水对照的病穗率达 22.4%，病情指数达 15.58（表 2）；先喷药后接菌条件下，25%氰烯菌酯 SC、25%戊唑醇 WP、30%多·酮 SC、50%多菌灵 WP 和 70%甲基硫菌灵 WP 处理在病穗率和病情指数上都有较好的防治效果，病穗率防效为 50.4%～83.5%，病情指数防效为 55.4%～88.2%。其中 25%氰烯菌酯 SC 处理的病穗率和病情指数防效最高，分别为83.5%和 88.2%，病穗率和病情指数分别为 3.7%和 1.83（表 2）。25%戊唑醇 WP、30%多·酮 SC、50%多菌灵 WP 和 70%甲基硫菌灵 WP 处理的病情指数分别为 4.75、6.78、6.96 和 5.33，与 25%氰烯菌酯 SC 处理没有显著差异（$P>0.05$）；其中 25%戊唑醇 WP、50%多菌灵 WP 和 70%甲基硫菌灵 WP 处理的病穗率分别为 8.7%、9.2%和 7.4%，与 25%氰烯菌酯 SC 处理没有显著差异（$P>0.05$）。30%己唑醇 SC、25%嘧菌酯 SC 和 12.5%烯唑醇 WP 处理的病穗率和病情指数与清水对照没有显著性差异（$P>0.05$）。其中12.5%烯唑醇 WP 处理的病穗率和病情指数防效较低，分别为 16.1%和 29.1%；30%己唑醇 SC 和 25%嘧菌酯 SC 没有防治效果（表 2）。

试验取样室内检测结果表明，清水对照的病粒率达 12.20%，籽粒中 DON 毒素积累达 21.42 mg/kg（表 2）。25%氰烯菌酯 SC、30%多·酮 SC、50%多菌灵 WP 和 70%甲基硫菌灵 WP 处理对病粒率和籽粒中 DON 积累都有较好的防治效果，病粒率防效在 55.2%～69.4%，籽粒中 DON 毒素积累防效在 69.8%～77.2%。它们的病粒率之间和籽粒中 DON 毒素积累水平之间没有显著差异，且显著低于清水对照（$P<0.05$）。30%己唑醇 SC、25%嘧菌酯 SC 和 12.5%烯唑醇 WP 处理的病粒率和籽粒中 DON 毒素积累水平与清水对照处理没有显著差异（$P>0.05$）。其中 30%己唑醇 SC 和 12.5%烯唑醇 WP 处理的病粒率防效较低，分别为 13.1%和 6.8%；25%嘧菌酯 SC 没有防治效果；30%己唑醇 SC 处理的籽粒中 DON 毒素防效较低，为7.0%；25%嘧菌酯 SC 和 12.5%烯唑醇 WP 处理在籽粒中 DON 毒素上没有防治效果（表 2）。

各处理测产结果表明，25%氰烯菌酯 SC 处理的产量最高，为 9 762.90 kg/hm^2，与 25%戊唑醇 WP 处理没有显著性差异，显著高于其他药剂处理（$P<0.05$）；30%己唑醇 SC 和 25%嘧菌酯 SC 处理的产量与清水对照处理没有显著差异（$P>0.05$）（表 2）。

表 2　先喷药后接菌条件下不同杀菌剂对小麦赤霉病的防治效果[1)]

Table 2　Control effect of fungicides on FHB under the condition of fungicide application before inoculation

处理 Treatment	病穗率/% FHB I	病穗率防效/% Control efficacy of FHB I	病情指数 DI	病情指数防效/% Control efficacy of DI	病粒率/% PDK	病粒率防效/% Control efficacy of PDK	DON 含量/ $mg \cdot kg^{-1}$ DON content	DON 防效/% Control efficacy of DON	产量/ $kg \cdot (hm^2)^{-1}$ Yield
清水对照 Water	22.4 ab	—	15.58 ab	—	12.20 ab	—	21.42 a	—	7 947.15 d
50%多菌灵 WP carbendazim 50% WP	9.2 de	58.9	6.96 cd	55.4	5.47 cd	55.2	4.88 b	77.2	8 970.60 bc
30%多·酮 SC carbendazim · triadimefon 30% SC	11.1 cd	50.4	6.78 cd	56.5	3.73 d	69.4	5.43 b	74.6	8 937.00 bc
25%戊唑醇 WP tebuconzole 25% WP	8.7 de	61.2	4.75 d	69.5	7.87 bcd	35.5	16.29 ab	23.9	9 499.50 ab
25%氰烯菌酯 SC phenamacril 25% SC	3.7 e	83.5	1.83 d	88.2	3.83 d	68.6	5.42 b	74.7	9 762.90 a
70%甲基硫菌灵 WP thiophanate-methyl 70%WP	7.4 de	67.0	5.33 d	65.8	5.17 d	57.6	6.46 b	69.8	8 991.15 bc
30%己唑醇 SC hexaconazole 30% SC	27.5 ab	0.0	17.11 a	0.0	10.60 abc	13.1	19.93 a	7.0	8 603.25 cd
25%嘧菌酯 SC azoxystrobin 25%SC	30.8 a	0.0	16.69 ab	0.0	15.13 a	0.0	26.24 a	0.0	7 897.80 d
12.5%烯唑醇 WP diniconazole 12.5% WP	18.8 bc	16.1	11.04 bc	29.1	11.37 ab	6.8	23.03 a	0.0	8 751.30 bc
LSD (P=0.05)	6.6	—	5.67	—	5.04	—	11.66	—	761.55

1) 接种 21 d 后调查病穗率和病级;收获后测定产量和籽粒中 DON 含量。表中同列数据后具有相同小写字母表示不同处理所测指标差异不显著($P>0.05$)。下同。

Fusarium head blight (FHB) incidence (I) and FHB disease index (DI) were investigated 21 d after inoculation, yield and content of DON were determined after harvest. The same lowercase letters in the same column indicated no significant difference according to Fisher's Protected Least Significant Difference Test. The same below.

2.2　先接菌后喷药条件下供试杀菌剂对小麦赤霉病的防治效果

先接菌,1 d 后喷药处理,25%氰烯菌酯 SC、25%戊唑醇 WP、30%多·酮 SC、50%多菌灵 WP 和 70%甲基硫菌灵 WP 处理在病穗率和病情指数上都有较好的防治效果,病穗率防效在 42.4%～63.4%,病情指数防效在 44.9%～68.7%。其中 25%氰烯菌酯 SC 处理的病穗率和病情指数防效最高,分别为 63.4%和 68.7%,病穗率和病情指数分别为 8.2%和 4.88(表 3)。25%戊唑醇 WP 和 70%甲基硫菌灵 WP 处理的病穗率分别为 11.2%和 10.5%,与 25%氰烯菌酯 SC 处理的病穗率没有显著差异($P>0.05$),显著低于 30%多·酮 SC 和 50%多菌灵 WP 处理的病穗率($P<0.05$)。25%戊唑醇 WP、30%多·酮 SC 和 70%甲基硫菌灵 WP 处理的病情指数分别为 6.94、7.63 和 6.70,与 25%氰烯菌酯 SC 处理的病穗率没有显著差异($P>0.05$),显著低于 50%多菌灵 WP 处理的病穗率($P<0.05$)。30%己唑醇 SC、25%嘧菌酯 SC 和 12.5%烯唑醇 WP 处理的病穗率和病情指数与清水对照没有显著差异($P>0.05$)。其中 25%嘧菌酯 SC 处理的病穗率防效较低,为1.3%,而 30%己唑醇 SC 和 12.5%烯唑醇 WP 处理在病穗率上没有防治效果;30%己唑醇悬浮剂、25%嘧菌酯 SC 和 12.5%烯唑醇 WP 处理的病情指数防效低,分别为 5.6%,7.3%和 8.4%(表 3)。

试验取样测定分析结果表明,25%氰烯菌酯 SC、25%戊唑醇 WP、30%多·酮 SC、50%多菌灵 WP 和 70%甲基硫菌灵 WP 处理在病粒率和籽粒中 DON 积累都有一定的防治效果,病粒率防效在 19.1%～62.9%之间,籽粒中 DON 毒素防效在 5.0%～86.9%。25%氰烯菌酯 SC 和 70%甲基硫菌灵 WP 处理的病粒率为 4.53%和 6.90%,显著低于清水对照处理;而 25%戊唑醇 WP、30%多·酮 SC 和 50%多菌灵 WP 处理的病粒率与清水对照没有显著差异。25%氰烯菌酯 SC、25%戊唑醇 WP、50%多菌灵 WP 和 70%甲基硫菌灵 WP 处理籽粒中 DON 毒素含量分别为 2.80、6.83、11.14 和 4.63 mg/kg,显著低于清水对照处理($P<0.05$);30%多·酮 SC 处理的籽粒中 DON 毒素水平与清水对照处理没

有显著差异($P>0.05$)。30%己唑醇 SC、25%嘧菌酯 SC 和 12.5%烯唑醇 WP 处理的病粒率和籽粒中 DON 毒素积累水平与清水对照处理没有显著差异($P>0.05$)。其中 30%己唑醇 SC、25%嘧菌酯 SC 和 12.5%烯唑醇 WP 处理在病粒率上没有防治效果;30%己唑醇 SC 处理的籽粒中 DON 毒素防效较低,为 6.3%,25%嘧菌酯 SC 和 12.5%烯唑醇 WP 处理在籽粒中 DON 毒素上没有防治效果(表 3)。

各处理测产结果表明,25%氰烯菌酯 SC 处理的产量最高,为 9922.80 kg/hm^2,与 50%多菌灵 WP 处理没有显著性差异,但显著高于其他药剂处理($P<0.05$);30%己唑醇 SC 处理的产量与清水对照处理没有显著差异($P>0.05$)(表 3)。

表 3 接菌后 1 d 喷药条件下不同杀菌剂对小麦赤霉病的防治效果

Table 3 Control effect of fungicides on FHB under the condition of fungicide application one day after inoculation

处理 Treatment	病穗率/% FHB I	病穗率防效/% Control efficacy of FHB I	病情指数 DI	病情指数防效/% Control efficacy of DI	病粒率/% PDK	病粒率防效/% Control efficacy of PDK	DON 含量/ mg·kg^{-1} DON content	DON 防效/% Control efficacy of DON	产量/ kg·(hm^2)$^{-1}$ Yield
清水对照 Water	22.4 a	—	15.58 a	—	12.20 bc	—	21.42 a	—	7 947.15 c
50%多菌灵 WP carbendazim 50% WP	12.9 b	42.4	8.58 b	44.9	7.63 cde	37.5	11.14 bc	48.0	9 662.70 a
30%多·酮 SC carbendazim·triadimefon 30% SC	12.9 b	42.4	7.63 bc	51.0	9.87 bcd	19.1	20.34 ab	5.0	8 793.60 b
25%戊唑醇 WP tebuconzole 25% WP	11.2 bc	50.0	6.94 bc	55.4	7.97 cde	34.7	6.83 c	68.1	8 764.20 b
25%氰烯菌酯 SC phenamacril 25% SC	8.2 c	63.4	4.88 c	68.7	4.53 e	62.9	2.80 c	86.9	9 922.80 a
70%甲基硫菌灵 WP thiophanate-methyl 70% WP	10.5 bc	53.1	6.70 bc	57.0	6.90 de	43.4	4.63 c	78.4	8 855.10 b
30%己唑醇 SC hexaconazole 30% SC	26.2 a	0.0	14.71 a	5.6	20.73 a	0.0	20.06 ab	6.3	7 825.05 c
25%嘧菌酯 SC azoxystrobin 25% SC	22.1 a	1.3	14.44 a	7.3	14.43 ab	0.0	25.66 a	0.0	8 619.45 b
12.5%烯唑醇 WP diniconazole 12.5% WP	23.6 a	0.0	14.27 a	8.4	13.80 b	0.0	25.31 a	0.0	8 560.05 b
LSD (P=0.05)	3.4		3.68		4.55		9.83		486.75

3 结论与讨论

随着小麦赤霉病在黄淮麦区发生和危害加重,以及 DON 毒素对食品安全的威胁越来越严重,急需选择既能控制小麦赤霉病发生又能控制小麦籽粒中的 DON 积累的化学药剂。本试验结果表明,25%氰烯菌酯 SC 对赤霉病的防效最好,其次为 25%戊唑醇 WP 和 70%甲基硫菌灵 WP,再次为 50%多菌灵 WP 和 30%多·酮 SC,而 30%己唑醇 SC,25%嘧菌酯 SC 和 12.5%烯唑醇 WP 没有显著的防治效果。这个结果中 25%氰烯菌酯 SC 处理防效显著高于 50%多菌灵 WP 和 30%多·酮 SC($P<0.05$),与王恒亮等[10],丁治军等[11],江涛等[12],孙光忠等[13]、刁亚梅等[15]、李恒奎等[16]和陆道训等[17]的报道一致。本结果中 25%戊唑醇 WP 处理防治效果比 50%多菌灵 WP 处理高,但两者没有显著差异($P>0.05$),而孔祥英等[18]和纪莉景等[19]认为 25%戊唑醇 WP 处理的防治效果显著高于 50%多菌灵 WP($P<0.05$)。此外,范东晟等[20]和 Zhang 等[21]报道 30%己唑醇 SC 处理和 25%嘧菌酯 SC 处理有显著的防治效果,但本结果中这两种药剂都没有显著的防治效果。

对于病粒率和籽粒中 DON 积累,本研究中 25%氰烯菌酯 SC 处理的防治效果在两种处理方式下均为最高或者接近最高,分别达 62.9%~68.6%和 74.7%~86.9%。其次为 25%戊唑醇 WP、70%甲基硫菌灵 WP、50%多菌灵 WP 和 30%多·酮 SC,这几种药剂,除喷药后接菌条件下的 25%戊唑醇 WP 在病粒率和籽粒中 DON 积累上没有显著防治效果;接菌后1 d喷药条件下的 50%多菌灵 WP 和 25%戊唑醇 WP 在病粒率上没有显著防治效果;30%多·酮 SC 处理在病粒率和籽粒中 DON 积累上没有显著防治效果外均能在一定程度上降低小麦籽粒中 DON 含量,此结果与 Zhang 等[21]报道的

25%氰烯菌酯 SC 处理和 25%戊唑醇 WP 能够显著降低籽粒中 DON 积累的结果一致;但本研究中 50%多菌灵 WP 在两种条件下都能显著地降低籽粒中 DON 的含量,与 Zhang 等[21]的结果不一致;而 25%嘧菌酯 SC 处理后籽粒中 DON 毒素含量高于清水对照处理的结果与 Zhang 等[21]的结果一致。

试验结果还可以看出同一种杀菌剂在先喷药后接菌和先接菌 1 d 后喷药试验条件下,对赤霉病的防治效果有所不同。25%氰烯菌酯 SC 在先喷药后接菌条件下对病穗率和病情指数的防效分别为 83.5%和 88.2%,明显优于先接菌后喷药 63.4%和 68.5%的防效。25%戊唑醇 WP、70%甲基硫菌灵 WP、50%多菌灵 WP 和 30%多·酮 SC 等杀菌剂也有同样的趋势。表明在病原菌侵染之前喷药的保护作用更能充分发挥杀菌剂的防治效果。

综上所述,25%氰烯菌酯 SC 不仅防治赤霉病效果最好,在病粒率和籽粒中 DON 毒素含量上控制效果较好,而且增产效果最明显,是推荐防治小麦赤霉病的首选药剂。在单一防治小麦赤霉病时可以使用 25%氰烯菌酯 SC,综合防治其他叶部病害时,可以考虑使用 48%氰烯菌酯·戊唑醇 SC[22]。25%戊唑醇 WP、70%甲基硫菌灵 WP、50%多菌灵 WP 和 30%多·酮 SC 防治小麦赤霉病效果和增产显著,且对减低籽粒中的 DON 毒素含量也有一定的效果,也是用于防治小麦赤霉病的可选药剂,但在禾谷镰刀菌产生多菌灵抗性的地区,宜用 25%氰烯菌酯 SC 和 25%戊唑醇 WP 作为防治小麦赤霉病药剂。

参考文献

[1] 陆维忠,程顺和,王裕中. 小麦赤霉病研究[M]. 北京:科学出版社,2001.

[2] LARSEN J C, HUNT J, PERRIN I, et al. Workshop on trichothecenes with a focus on DON: summary report [J]. Toxicology Letters, 2004, 153(1): 1-22.

[3] TANAKA T, HASEGAWA A, YAMAMOTO S, et al. Worldwide contamination of cereals by the Fusarium mycotoxins nivalenol, deoxynivalenol, and zearalenone. 1. Survey of 19 countries [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1988, 36(5): 979-983.

[4] SUI K, LI J, WEI F, et al. Determination of deoxynivalenol in cereal grains by high performance liquid chromatography and verified by high performance liquid chromatography-mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2005, 33(11): 1643-1646.

[5] 徐飞,杨共强,宋玉立,等. 不同小麦品种(系)对赤霉病的抗性和麦穗组织中 DON 毒素积累分析[J]. 植物病理学报,2014,44(6):651-657.

[6] BAI Guihua, SHANER G. Management and resistance in wheat and barley to Fusarium head blight [J]. Annual Review of Phytopathology, 2004, 42(1): 135-161.

[7] 徐飞,杨共强,王俊美,等. 河南省小麦赤霉病菌种群组成及致病力分化[J]. 植物病理学报,2016,46(3):294-303.

[8] BAI Guihua, SHANER G. Scab of wheat: prospects for control [J]. Plant Disease, 1994, 78(8): 760-766.

[9] 樊平声,周明国,陈长军,等. DON 毒素作为小麦赤霉病损失率评估及防治指标的研究[J]. 山地农业生物学报,2015,34(5):81-85.

[10] 王恒亮,郭艳春,穆长安,等. 不同杀菌剂对小麦纹枯病和赤霉病的防治效果[J]. 植物保护,2017,43(1):193-198.

[11] 丁治军,葛玉林,黄付根,等. 防治小麦赤霉病的药剂筛选研究[J]. 现代农药,2013(4):53-54.

[12] 江涛,陈碧莲,王晓芳,等. 5 种杀菌剂防治小麦赤霉病田间药效分析[J]. 上海农业科技,2013(1):121-122.

[13] 孙光忠,彭超美,刘元明,等. 不同杀菌剂防治小麦赤霉病试验研究[J]. 湖北农业科学,2015,54(1):81-83.

[14] ZADOKS J C, CHANG T T, KONZAK C F. A decimal code for the growth stages of cereals [J]. Weed Research, 1974, 14(6): 415-421.

[15] 刁亚梅,陈培红,许德华,等. 25%氰烯菌酯悬浮剂防治小麦赤霉病大田示范试验[J]. 现代农药,2012,11(3):44-46.

[16] 李恒奎,周明国,王建新,等. 氰烯菌酯防治小麦赤霉病及治理多菌灵抗药性研究[J]. 农药,2006,45(2):92-94.

[17] 陆道训,秦华宝,赵立军,等. 70%甲基硫菌灵 WP 防治小麦赤霉病的药效研究[J]. 安徽农业科学,2005,33(11):8.

[18] 孔祥英,马鸿翔,张旭,等. 戊唑醇对小麦赤霉病的田间防治和增产效果[J]. 江西农业学报,2014,26(4):64-67.

[19] 纪莉景,栗秋生,王连生,等. 戊唑醇防治小麦赤霉病施药时期及安全性评价[J]. 植物保护,2017,43(3):203-206.

[20] 范东晟,许烨,冯安荣,等. 六种药剂对小麦赤霉病防治效果试验[J]. 陕西农业科学,2015,61(3):4-5.

[21] ZHANG Y J, FAN P S, ZHANG X, et al. Quantification of *Fusarium graminearum* in harvested grain by real-time polymerase chain reaction to assess efficacies of fungicides on Fusarium head blight, deoxynivalenol contamination, and yield of winter wheat [J]. Phytopathology, 2009, 99(1): 95-100.

[22] 刁亚梅,周明国,王建新,等. 48%氰烯菌酯·戊唑醇悬浮剂防治小麦赤霉病的开发[J]. 农药,2012,51(5):375-376.

(责任编辑:杨明丽)