

综合品种抗性和杀菌剂对 6 个抗性不同的冬小麦品种 赤霉病防效评价

向礼波¹ 薛敏峰¹ 史文琦¹ 严双义² 曾凡松¹ 刘美玲¹

杨立军¹ 龚双军^{1*} 喻大昭¹

(1. 湖北省农业科学院植保土肥研究所/农业农村部华中作物有害生物综合治理重点实验室/

农作物重大病虫害防控湖北省重点实验室,武汉 430064;

2. 湖北省随州市曾都区农业技术推广中心,湖北 随州 441300)

摘要 为明确品种抗性、杀菌剂施药时期和防治次数相结合对小麦赤霉病(*Fusarium head blight*, FHB)病情指数(Disease index, DI)、脱氧雪腐镰刀菌烯醇(Deoxynivalenol, DON)毒素含量和千粒重(Thousand-grain weight, TGW)的影响,2016—2018 年连续 2 个年度使用 6 个不同抗性水平的冬小麦品种(‘郑麦 9023’‘鄂麦 006’‘鄂麦 170’‘襄麦 35’‘鄂麦 DH16’‘宁麦 13’),分别在扬花初期和扬花初期第 6 天喷施 430 g/L 戊唑醇防治小麦赤霉病,对病情指数、脱氧雪腐镰刀菌烯醇毒素含量和千粒重进行评价。结果表明:品种抗性和杀菌剂对 DI、DON 毒素含量和 TGW 的影响极显著($P<0.0001$);品种×杀菌剂联合作用,对 TGW 影响不显著($P>0.05$);杀菌剂防治 1 次和 2 次对中抗品种的 DI 和 DON 毒素含量差异不显著;比较品种间 DI 和 DON 的防效,中抗品种对 DI 和 DON 毒素积累的防治效果要显著高于中感病品种($P<0.05$)。因此,品种抗性与药剂相结合是防治小麦赤霉病和 DON 毒素积累的有效策略。

关键词 小麦赤霉病; 品种抗性; 杀菌剂施用; 脱氧雪腐镰刀菌烯醇

中图分类号 S435.12

文章编号 1007-4333(2022)07-0035-08

文献标志码 A

Evaluation of the control effect of six winter wheat cultivars with different resistance on *Fusarium head blight* by integrating cultivar resistance and fungicide

XIANG Libo¹, XUE Minfeng¹, SHI Wenqi¹, YAN Shuangyi², ZENG Fansong¹, LIU Meiling¹,

YANG Lijun¹, GONG Shuangjun^{1*}, YU Dazhao¹

(1. Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crop in Central China of Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Hubei Province Key Laboratory for Control of Crop Diseases, Pest and Weeds, Institute of Plant Protection and Soil Science,

Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China;

2. Zengdu Agriculture Technology Extension Center, Suizhou 441300, China)

Abstract In order to determine the effects of winter wheat cultivar resistance, the timing and times to apply fungicide on *Fusarium head blight* disease index (DI), thousand-grain weight (TGW) and the mycotoxin deoxynivalenol (DON), field experiments were conducted in Suizhou, Hubei Province from 2016 to 2018. This study integrated six different of

收稿日期: 2021-07-25

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0200500);财政部和农业农村部:国家现代农业产业技术体系资助(CARS-03);国家自然科学基金项目(31872009);湖北省农业科技创新中心项目(2016-620-000-001-015);湖北省农科院领军人才计划项目(L2018013)

第一作者: 向礼波,副研究员,主要从事小麦病害化学防治研究,E-mail: hbxlibo2008@163.com

通讯作者: 龚双军,研究员,主要从事小麦病害综合防治研究,E-mail: gsj204@126.com

cultivar resistance (Zhengmai 9023, Emai 006, Emai 170, Xiangmai 35, Emai DH 16 and Ningmai 13) and the application of the fungicide 430 g/L tebuconazole at anthesis and six days after anthesis were evaluated for their efficacy against FHB disease index, deoxynivalenol (DON) toxin content and TGW. The results showed: The effect of cultivar on FHB index was highly significant ($P < 0.0001$), while cultivar $\times$ fungicide interaction had no significant difference ($P > 0.05$) for TGW in the two-year field trials. Index and DON had no significant difference in moderately resistant cultivars treated with the fungicide 430 g/L tebuconazole at anthesis or six days after anthesis. The results from this study indicated that fungicide efficacy in reducing FHB and DON was greater in moderately resistant cultivars than moderately insusceptible ones ($P < 0.05$). Taken together, these findings demonstrated the benefits of combining genetic resistance with tebuconazole treatment to manage FHB, tebuconazole was applied at early anthesis or 6 days after early anthesis, respectively.

Keywords Fusarium head blight; cultivar resistance; fungicide application; DON

小麦赤霉病(Fusarium head blight, FHB)是由禾谷镰刀菌(*Fusarium graminearum*)引起的赤霉病,对谷物粮食生产会造成严重的经济损失。生产上采用综合治理策略来减轻 FHB 发生和降低脱氧雪腐镰刀菌烯醇(Deoxynivalenol, DON)毒素污染,主要包括农业防治、品种抗性和药剂防治等^[1-4]。目前我国大面积种植的小麦品种,仅‘扬麦’‘宁麦’系列的少数品种对赤霉病有较好抗性,其他品种对赤霉病均表现感病^[5]。因此,药剂防治仍然是赤霉病防治的主要措施。

一些研究已评估了多种药剂控制 FHB 和减少 DON 毒素积累的效果^[6-9]。纪莉景等^[10]对感病品种‘济麦 22’的研究表明盛花期施用戊唑醇对小麦赤霉病的防治效果最好,其次为齐穗期和始花期施药。徐飞等^[11]对‘周麦 18’‘豫保 1 号’2 个感病品种的研究显示齐穗期、始花期、盛花末期和灌浆初期施药,赤霉病的病情指数(Disease index, DI)和 DON 毒素积累都能显著减少,其中始花期和盛花末期防治效果最好。这些研究结果对一些中感品种最佳防治时期提供了科学依据。目前尽管没有抗病品种,但品种间还是存在很大差异。特别是长江流域地区,不同品种的抗性差异较大^[12]。品种对杀菌剂最佳施用时间是否因其对赤霉病的抗性水平不同而有差异?由于小麦扬花期正值多雨季节,生产上也会依据天气预报情况来增加施药次数。然而不同抗性水平的品种是否会因增加施药次数而防治效果提高?目前关于这两方面的研究报道较少。

本研究选择 6 个不同抗性水平的小麦品种,在扬花初期和扬花初期第 6 天分别施用戊唑醇杀菌剂,综合评价病情指数、DON 毒素含量和千粒重(Thousand-grain weight, TGW)等指标,以期为不

同抗性水平的品种制定可靠的杀菌剂应用指南,也为基于品种抗性的小麦赤霉病化学农药减施技术提供科学支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试小麦品种:中感赤霉病品种‘郑麦 9023’‘鄂麦 170’‘襄麦 35’‘鄂麦 006’,其中‘郑麦 9023’为湖北省种植面积最大的品种之一,‘鄂麦 170’‘襄麦 35’‘鄂麦 006’是鄂审优质小麦品种的代表;中抗赤霉病品种‘宁麦 13’‘鄂麦 DH16’,‘宁麦 13’由江苏省农业科学院粮食作物研究审定的国审小麦品种,适宜在长江中下游冬麦区的江苏、安徽和湖北三省种植,‘鄂麦 DH16’由湖北省农业科学院植保土肥所选育。品种的抗病性由当地种植户根据多年种植经验判定并提供。供试药剂:430 g/L 戊唑醇悬浮剂(SC),江苏剑牌农药有限公司生产。

1.2 方法

1.2.1 试验设计

试验设在湖北省随州市曾都区何店镇何家台(113°19′57″E, 31°35′18″N),海拔 26 m。试验地土壤为黄棕壤,肥力中等,质地较黏。2017 年试验于 2016 年 10 月 25 日播种 6 个供试小麦品种,2017 年 5 月 18 日收获;2018 年试验于 2017 年 11 月 3 日播种 6 个供试小麦品种,2018 年 5 月 25 日收获。2 年试验播种量均为 225 kg/hm²,试验点均为机械条播,按生产常规措施进行施肥、开沟和除草管理,不使用其他杀菌剂。2016—2018 年 2 个年度 6 个品种扬花期均在 4 月 8~22 日之间,2017 年 4 月降雨量为 90.2 mm,2018 年 4 月降雨量为 84.9 mm。杀菌剂设置 3 种处理:430 g/L 戊唑醇悬浮剂 192 g/hm² (a. i.) 于扬花期施药 1 次(1 次施药处理),430 g/L

戊唑醇悬浮剂 192 g/hm² 于扬花期和扬花期后第 6 天各施药 1 次(2 次施药处理),不使用杀菌剂处理(0 次施药)。以 600 L/hm² 的用水量施用戊唑醇。小区面积为 10 m²,每个处理 3 次重复。小区排列按照随机区组设计。

1.2.2 麦穗病害严重度调查

待病情稳定后(小麦乳熟期),参照标准 NY/T 1464.15^[13] 进行小麦赤霉病严重度调查。在每小区对角线选 5 点取样,每点调查 200 穗小麦,记录每穗发病严重度,计算病穗率、病情指数及防效。病穗率=病穗数/调查总穗数×100%;病情指数= $\Sigma(\text{病穗数} \times \text{相对级数值}) / (\text{调查总穗数} \times \text{最高级数值}) \times 100$;防效=(空白对照区病情指数-处理区病情指数)/空白对照区病情指数×100%。小麦赤霉病严重度分级标准:0 级:全穗无病;1 级:枯穗面积/全穗面积≤1/4;3 级:1/4<枯穗面积/全穗面积≤1/2;5 级:1/2<枯穗面积/全穗面积≤3/4;7 级:枯穗面积/全穗面积>3/4。

1.2.3 脱氧雪腐镰刀菌烯醇毒素含量测定

委托中国农业科学院油料作物研究所农业部油料及制品质量监督检验测试中心完成。具体参照 GB 5009.111—2016^[14] 方法:每小区随机称取 1 kg 麦粒,磨细至粒度小于 2 mm,混匀;依次用 PBS 缓冲溶液(pH 7.4)和体积分数为 70% 甲醇水溶液提取,提取液经稀释和过滤后,经免疫亲和柱净化;依次用 5 mL PBS 缓冲溶液和 5 mL 水预淋洗,再用 2 mL 甲醇洗脱。洗脱液经 50 ℃ 氮气吹干,加入 1.0 mL 乙腈溶解残留物,涡旋混匀 10 s,经 0.22 μm 微孔滤膜过滤后,待液相色谱-串联质谱测定(三重四极液相色谱质谱联用仪,LC-MS-8040,岛津企业管理(中国)有限公司)。外标法定量测定 DON 含量,标准品脱氧雪腐镰刀菌烯醇购自西格玛奥德里奇(上海)贸易有限公司,纯度 99%。

1.2.4 小麦籽粒重调查

在小麦成熟期,每小区随机收获 200 穗小麦,手工脱粒以保证收获所有麦粒,每个小区的样品标记后分别保存。每个样品混匀后测定千粒重。

1.3 统计分析

数据采用 DPS 版本 18.10 的通用线性模型(GLM)程序进行分析。最小显著性差异(LSD, $P=0.05$)用于比较两组处理平均值。在 $P \leq 0.05$ 时,品种和药剂效应及其相互作用的 F 值被认为是显著的。各品种病情指数和 DON 的杀菌剂防效计算

公式为: $[(\text{CK} - \text{Fun}) / \text{CK}] \times 100$ 。各品种千粒重的杀菌剂防效计算公式为: $[(\text{Fun} - \text{CK}) / \text{Fun}] \times 100$ 。其中 CK 为对照处理值, Fun 为杀菌剂处理值。

2 结果与分析

2.1 品种抗性与杀菌剂施用对小麦赤霉病 DI、DON 和 TGW 影响

由表 1 可知,品种×杀菌剂互作的 F 值在 2016—2017 和 2017—2018 年的病情指数和 DON 毒素含量均差异显著,但千粒重差异均不显著($P > 0.05$)。品种和杀菌剂单独作用的效果对病情指数、DON 毒素含量和千粒重 3 个指标在 2 年的试验结果都一致,存在极显著影响。

2.2 品种抗性和杀菌剂施用次数对冬小麦赤霉病 DI、DON 和 TGW 的影响

供试的 6 个不同抗性水平冬小麦品种和杀菌剂施药次数组合处理的效果见表 2。与未施杀菌剂处理相比,杀菌剂戊唑醇处理(1 次和 2 次)显著降低病情指数、DON 毒素含量和增加千粒重,其中中抗品种‘宁麦 13’‘鄂麦 DH16’的病情指数和 DON 毒素含量降低的最显著,千粒重增加在不同品种中表现不一致。药剂不同施用次数的结果表明,各品种的病情指数都有降低,未施药处理与施 1 次药处理病情指数间达到显著水平,施 1 次药与施 2 次药病情指数间未达到显著水平。施药次数相同的情况下,中抗病品种的病情指数显著低于中感病品种的病情指数。

2.3 杀菌剂对抗感品种的 DI、DON 和 TGW 的影响

由图 1 可知,杀菌剂对不同抗感小麦品种的病情指数和防治效果存在极显著差异($P < 0.0001$),千粒重则差异不显著($P = 0.0835$)。中抗品种(‘宁麦 13’‘鄂麦 DH16’)2 年平均病情指数和 DON 毒素累积的防治效果分别为 76.72% 和 59.27%,中感病品种(‘郑麦 9023’‘鄂麦 006’‘鄂麦 170’‘襄麦 35’)2 年平均病情指数和 DON 毒素累积的防治效果分别为 47.05% 和 38.67%。

2.4 抗感品种对小麦赤霉病防治效果的影响

供试 6 个品种对小麦赤霉病防治效果的影响见表 3,中抗品种‘鄂麦 DH16’‘宁麦 13’对病情指数和 DON 毒素防效极显著高于中感病品种‘郑麦 9023’‘鄂麦 006’‘鄂麦 170’‘襄麦 35’的防效,中抗和中感病抗性品种对千粒重防效影响不显著。其中

中抗品种病情指数防效在 70.00% 以上, DON 毒素 36.77%~57.12%, DON 毒素防效在 33.73%~防效在 45.00% 以上; 中感品种病情指数防效在 43.17%。

表 1 品种、杀菌剂和品种与杀菌剂联合作用对 6 个小麦品种赤霉病病情指数、DON 毒素含量和千粒重的方差分析
Table 1 Analysis of variance from experiments conducted to determine the effect of cultivar, fungicide and combining cultivar with fungicide application on FHB DI, DON concentration and TGW in six winter wheat

时间 Period	变异来源 Source of variation		品种 Cultivar	杀菌剂 Fungicide	品种×杀菌剂 C×F	误差 Error	总变异 Total
			5	2	10	36	33
2016—2017 年 2016—2017	病情指数/%	MS	389.870	1 086.020	17.910	6.180	
		P 值	<0.000 1	<0.000 1	0.009 4		
	脱氧雪腐镰刀菌烯醇 质量分数/(μg/kg)	MS	43.960	19.700	1.650	0.052	
		P 值	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1		
	千粒重/g	MS	56.230	88.170	0.590	0.400	
		P 值	<0.000 1	<0.000 1	0.1810		
2017—2018 年 2017—2018	病情指数/%	MS	342.910	617.700	10.440	4.970	
		P 值	<0.000 1	<0.000 1	0.044 0		
	脱氧雪腐镰刀菌烯醇 质量分数/(μg/kg)	MS	22.140	19.840	0.490	0.190	
		P 值	<0.000 1	<0.000 1	0.014 0		
	千粒重/g	MS	141.230	134.220	1.360	0.800	
		P 值	<0.000 1	<0.000 1	0.120 0		

注: 数字 5、2、10、36 和 33 表示自由度; MS 表示均方。
Note: The number 5, 2, 10, 36 and 33 indicated degrees of freedom; MS indicated mean square.

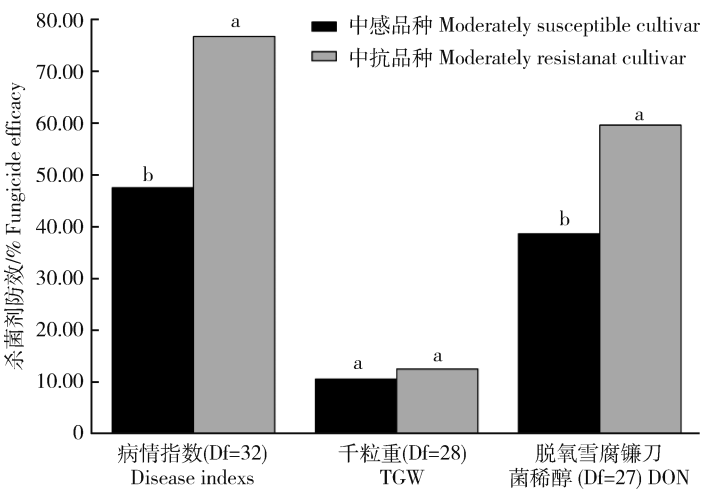
表 2 品种抗性和杀菌剂施用次数对 6 个冬小麦品种赤霉病 DI、TGW 和 DON 的影响
Table 2 Effects of cultivar resistance and the application times of fungicide on DI, TGW, and DON concentration in six winter wheat cultivars

品种 Cultivar	杀菌剂 处理次数 Times of fungicide treatment	2016—2017			2017—2018		
		脱氧雪腐镰刀菌			脱氧雪腐镰刀菌		
		病情指数/%	烯醇质量分数/ (μg/kg)	千粒重/g	病情指数/%	烯醇质量分数/ (μg/kg)	千粒重/g
		Disease index	DON mass fraction	TGW	Disease index	DON mass fraction	TGW
郑麦 9023 Zhengmai 9023	0	35.38 a	7.78 a	28.01 hi	21.76 abc	6.51 a	36.01 efg
	1	17.55 cde	5.40 b	32.39 defg	14.44 def	4.12 b	38.97 bc
	2	15.88 def	4.02 de	34.08 cde	8.32 fg	3.86 bc	40.17 b
鄂麦 006 Emai 006	0	25.06 b	3.57 e	26.52 i	21.73 abc	3.7 bcd	33.26 h
	1	16.07 de	2.49 f	28.79 hi	12.43 def	2.32 e	35.2 fg
	2	14.56 ef	2.24 f	30.14 fgh	10.01 ef	2.16 e	37.3 cde

表 2(续)

品种 Cultivar	杀菌剂 处理次数 Times of fungicide treatment	2016—2017			2017—2018		
		脱氧雪腐镰刀菌			脱氧雪腐镰刀菌		
		病情指数/%	烯醇质量分数/ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	千粒重/g	病情指数/%	烯醇质量分数/ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	千粒重/g
		Disease index	DON mass fraction	TGW	Disease index	DON mass fraction	TGW
鄂麦 170 Emai 170	0	26.82 b	3.96 de	28.54 hi	27.50 a	3.93 bc	39.88 b
	1	14.61 ef	2.64 f	31.77 efg	15.97 cde	2.41 de	42.68 a
	2	8.30 fg	2.53 f	32.77 cdef	11.95 def	2.04 e	43.85 a
襄麦 35 Xiangmai 35	0	23.48 bcd	8.41 a	29.99 gh	24.48 ab	5.77 a	35.38 efg
	1	14.21 ef	5.25 bc	33.74 cde	18.39 bcd	4.13 b	38.69 bcd
	2	8.29 fg	4.58 cd	34.95 cd	12.25 def	2.69 cde	40.07 b
鄂麦 DH16 Emai DH 16	0	17.29 de	1.50 g	35.50 c	9.76 ef	1.93 e	32.72 h
	1	4.00 g	0.78 h	39.94 ab	2.77 g	0.61 f	36.73 ef
	2	2.21 g	0.65 h	41.26 a	2.32 g	0.58 f	36.94 def
宁麦 13 Ning mai 13	0	11.67 ef	1.52 g	33.13 cde	10.34 ef	1.93 e	34.62 gh
	1	2.63 g	0.85 h	38.47 b	2.76 g	0.62 f	38.68 bcd
	2	2.44 g	0.79 h	40.06 ab	2.50 g	0.55 f	39.07 bc

注：同列数据后不同小字母分别表示经 Fisher 最小显著检验在 0.05 水平差异显著。下表同。
Note: Means followed by the same letter within a column are not different according to Fisher's least significant difference test at 0.05. The same below.



相同字母表示在 0.05 时差异不显著。Df 表示自由度。

The same letters indicated no significant difference at 0.05. Df indicated degrees of freedom.

图 1 杀菌剂对中和中感病冬小麦品种的危害指数、千粒重和 DON 的影响

Fig. 1 Fungicide efficacy for fusarium head blight index, TGW and deoxynivalenol in moderately resistant and susceptible winter wheat cultivar

表3 不同抗感品种间杀菌剂对病情指数、脱氧雪腐镰刀菌烯醇含量和千粒重的效果

Table 3 Effects of applying fungicide to cultivars with different resistances on Fusarium head blight index, deoxynivalenol concentration and thousand-grain weight

品种 Cultivar	2016—2017			2017—2018		
	病情指数	脱氧雪腐	千粒重	病情指数	脱氧雪腐	千粒重
	防效/%	镰刀菌烯	防效/%	防效/%	镰刀菌烯	防效/%
	Disease index efficacy	醇防效/% DON efficacy	TGW efficacy	Disease index efficacy	醇防效/% DON efficacy	TGW efficacy
郑麦 9023 Zhengmai 9023	52.64 bc	39.38 bc	8.94 a	47.52 bc	37.16 b	15.64 a
鄂麦 006 Emai 006	37.91 c	33.73 c	8.15 a	47.85 bc	39.42 b	9.93 a
鄂麦 170 Emai 170	57.12 b	34.71 c	7.80 a	48.90 b	43.17 b	11.53 a
襄麦 35 Xiangmai 35	51.31 bc	41.46 bc	10.13 a	36.77 c	40.31 b	12.61 a
鄂麦 DH16 Emai DH 16	81.76 a	51.99 a	10.91 a	73.94 a	69.34 a	12.54 a
宁麦 13 Ningmai 13	77.59 a	46.11 a	11.14 a	73.59 a	69.64 a	15.58 a

3 讨论与结论

本研究通过对 2016—2018 年 2 年的田间试验发现,扬花后第 6 天施用戊唑醇与未施药处理相比能显著降低病情指数和 DON 毒素含量,千粒重也显著高于未施药处理,并且整个生育期施药 1 次与施药 2 次对于中抗品种在病情指数和 DON 毒素含量上没有显著差异,该结果与前人研究相似。D’Angelo 等^[15]在开花期和开花第 6 天后分别施用丙硫菌唑+戊唑醇和叶菌唑 2 种药剂,结果表明开花后第 6 天施药与开花期施药在降低 FHB 病情指数和 DON 毒素积累方面同样有效,有时甚至比开花期施用更有效。Paul 等^[16]研究了在开花前、开花期和开花后 3 个时期分别施用丙硫菌唑+戊唑醇和叶菌唑,结果发现,后 2 个时期施药对病情指数的抑制效果优于开花前处理,但是产量上没有显著差异。Cowger 等^[17]使用杀菌剂丙硫菌唑+戊唑醇防治大麦赤霉病,结果也表明开花期和开花期后第 6 天施药能显著降低病情指数。上述结果表明,杀菌剂的施用可从花期开始推迟 6 天,而不是在 50% 的开花初期施用杀菌剂。该结果为赤霉病的防治提供了较为广泛的防治窗口期。

本研究通过比较抗感品种施用戊唑醇的防治效果发现,在‘宁麦 13’‘鄂麦 DH16’中抗品种上,杀菌剂戊唑醇对病情指数和 DON 毒素含量的防治效果要显著高于‘郑麦 9023’‘鄂麦 170’‘鄂麦 006’‘襄麦 35’4 个中感病品种。这说明种植抗病品种进行

药剂防治的效果要远高于感病品种施药的效果。这与 Mesterhazy 等^[18]和 Wegulo 等^[19]报道的结果一致。在 2016—2018 年 2 年试验中,小麦赤霉病中度发病发生年份(不施药品种的病指在 9.76~35.38),对‘宁麦 13’‘鄂麦 DH16’施 1 次药和 2 次药,两者病情指数和 DON 含量不存在显著差异。因此,对于抗病品种可以根据病害发生的严重情况,来决定是否进行第 2 次施药,这样既可以减少施药次数,又降低成本。

在 2 年的试验中,品种和杀菌剂单独和相互作用对千粒重的影响没有呈现明显的规律,并且不同抗感品种千粒重的防效也没有差异。推测出现这种结果的原因可能与品种成熟度和挑选籽粒的随机性有关,同时千粒重又受品种遗传特性等因素影响。如需更加精准的评判品种和杀菌剂对产量的影响,则需要对小区产量实际测产,这样才能更加准确地反应实际产量。此外,本研究仅选择 2 个中等抗性品种在 1 种生态环境下进行的试验,还需要在不同发病年份、不同气候条件下选取更多的中等抗性品种来进一步证实本研究的结果。

综上,本研究表明在小麦赤霉病中度发生的年份,中等抗性品种施用杀菌剂比敏感品种施用杀菌剂能更有效地控制该病害。同时,对于中抗品种利用自身遗传抗性配合 1 次施药(扬花初期或扬花初期后第 6 天)可以有效地降低病害损失。因此,生产上可以通过种植中等抗性品种,再加上 1 次关键时期的药剂防治来控制赤霉病危害。

参考文献 References

[1] 喻大昭. 麦类赤霉病研究进展[J]. 植物保护, 2009, 35(3): 1-6

Yu D Z. Advances in the research of *Fusarium* head blight of wheat and barley[J]. *Plant Protection*, 2009, 35(3): 1-6 (in Chinese)

[2] 陈云, 王建强, 杨荣明, 马忠华. 小麦赤霉病发生危害形势及防控对策[J]. 植物保护, 2017, 43(5): 11-17

Chen Y, Wang J Q, Yang R M, Ma Z H. Current situation and management strategies of *Fusarium* head blight in China [J]. *Plant Protection*, 2017, 43(5): 11-17 (in Chinese)

[3] Shan L, Ali A, Yahya M, Zhu Y L, Wang S X, Si H Q, Rahman H, Ma C X. Integrated control of *Fusarium* head blight and deoxynivalenol mycotoxin in wheat [J]. *Plant Pathology*, 2018, 67(3): 532-548 (in Chinese)

[4] 马忠华, 陈云, 尹燕妮. 小麦赤霉病流行成灾原因分析及防控对策探讨[J]. 中国科学基金, 2020, 34(4): 464-469

Ma Z H, Chen Y, Yin Y N. Epidemiological analysis and management strategies of *Fusarium* head blight of wheat[J]. *Bulletin of National Natural Science Foundation of China*, 2020, 34(4): 464-469 (in Chinese)

[5] 程顺和, 张勇, 别同德, 高德荣, 张伯桥. 中国小麦赤霉病的危害及抗性遗传改良[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(5): 938-942

Cheng S H, Zhang Y, Bie T D, Gao D R, Zhang B Q. Damage of wheat *Fusarium* head blight (FHB) epidemics and genetic improvement of wheat for scab resistance in China[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 28(5): 938-942 (in Chinese)

[6] 陈宏州, 吴佳文, 庄义庆, 杨红福, 吴琴燕, 徐超, 缪康, 姚克兵. 不同杀菌剂对小麦赤霉病及籽粒 DON 毒素的控制效果[J]. 植物保护, 2021, 47(6): 307-317

Chen H Z, Wu J W, Zhuang Y Q, Yang H F, Wu Q Y, Xu C, Miao K, Yao K B. Control efficacy of different fungicides on *Fusarium* head blight and deoxynivalenol in wheat grain [J]. *Plant Protection*, 2021, 47(6): 307-317 (in Chinese)

[7] 张海艳, 段云辉, 韩敏, 洪爱梅, 孙国俊, 杨荣明, 吴佳文, 杨国华. 几种杀菌剂防控小麦赤霉病穗腐及籽粒脱氧雪腐镰刀菌烯醇(DON)毒素的评价[J]. 植物保护, 2021, 47(1): 259-264, 272

Zhang H Y, Duan Y H, Han M, Hong A M, Sun G J, Yang R M, Wu J W, Yang G H. Evaluation of several fungicides for controlling the *Fusarium* head blight and deoxynivalenol content in wheat grain[J]. *Plant Protection*, 2021, 47(1): 259-264, 272 (in Chinese)

[8] 沈迎春, 张怡, 刘福海, 陈怀谷, 朱叶芹. 不同配比多菌灵与戊唑醇防治小麦赤霉病研究[J]. 农药科学与管理, 2016, 37(9): 50-56

Shen Y C, Zhang Y, Liu F H, Chen H G, Zhu Y Q. Field efficacy of tebuconazole and carbendazim with different ratios against wheat *Fusarium* head blight[J]. *Pesticide Science and Administration*, 2016, 37(9): 50-56 (in Chinese)

[9] 宋益民, 丛国林, 陈怀谷. 多菌灵及其复配制剂防治小麦赤霉病的应用效果[J]. 植物保护学报, 2018, 45(2): 352-358

Song Y M, Cong G L, Chen H G. Efficacy of carbendazim and its mixtures for controlling wheat scab[J]. *Journal of Plant Protection*, 2018, 45(2): 352-358 (in Chinese)

[10] 纪莉景, 栗秋生, 王连生, 王亚娇, 李聪聪, 孔令晓. 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

Ji L J, Li Q S, Wang L S, Wang Y J, Li C C, Kong L X. Safety evaluation and spraying time of tebuconazole to control wheat head blight[J]. *Plant Protection*, 2017, 43(3): 203-206 (in Chinese)

[11] 徐飞, 宋玉立, 杨共强, 王俊美, 赵凯, 韩自行, 李丽娟, 刘露露, 李亚红, 张姣姣. 戊唑醇不同防治时间对小麦赤霉病发生和籽粒中 DON 毒素积累的影响[J]. 植物保护, 2018, 44(1): 179-185

Xu F, Song Y L, Yang G Q, Wang J M, Zhao K, Han Z H, Li L J, Liu L L, Li Y H, Zhang J J. Effect of tebuconazole application time on *Fusarium* head blight and the accumulation of deoxynivalenol in winter wheat[J]. *Plant Protection*, 2018, 44(1): 179-185 (in Chinese)

[12] 朱展望, 朱伟伟, 佟汉文, 刘易科, 陈冷, 杨立军, 汪华, 张宇庆, 邹娟, 焦春海, 高春保. 湖北小麦品种赤霉病抗性及其在生产中的应用[J]. 麦类作物学报, 2015, 35(12): 1733-1738

Zhu Z W, Zhu W W, Tong H W, Liu Y K, Chen L, Yang L J, Wang H, Zhang Y Q, Zou J, Jiao C H, Gao C B. *Fusarium* head blight resistance and application of wheat varieties in Hubei Province[J]. *Journal of Triticeae crops*, 2015, 35(12): 1733-1738 (in Chinese)

[13] NY-T1464.15-2007. 农药田间药效试验准则第 15 部分: 杀菌剂防治小麦赤霉病[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008

NY-T1464. 15-2007. Guidelines for the field efficacy tests of pesticides-Part 15: Fungicides against *Fusarium* head blight [S]. Beijing: China Standard Press, 2008 (in Chinese)

[14] GB 5009. 111—2016. 食品中脱氧雪腐镰刀菌烯醇及其乙酰化衍生物的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2017

GB 5009. 111—2016. Determination of deoxynivalenol and its acetylated derivatives in food [S]. Beijing: China Standard Press, 2017 (in Chinese)

[15] D’Angelo D L, Bradley C A, Ames K A, Willyerd K T, Madden L V, Paul P A. Efficacy of fungicide applications during and after anthesis against *Fusarium* head blight and deoxynivalenol in soft red winter wheat[J]. *Plant Disease*, 2014, 98(10): 1387-1397

[16] Paul P A, Bradley C A, Madden L V, Dalla Lana F D, Bergstrom G C, Dill-Macky R, Wise K A, Eaker P D, McMullen M, Grybauskas A, Kirk W W, Milus E, Ruden K. Effects of pre- and postanthesis applications of demethylation inhibitor fungicides on *Fusarium* head blight and deoxynivalenol in spring and winter wheat [J]. *Plant Disease*, 2018, 102(12): 2500-2510

[17] Cowger C, Arellano C, Marshall D, Fitzgerald J. Managing *Fusarium* head blight in winter barley with cultivar resistance and fungicide[J]. *Plant Disease*, 2019, 103(8): 1858-1864

[18] Mesterházy, Bartók T, Lamper C. Influence of wheat cultivar, species of *Fusarium*, and isolate aggressiveness on the efficacy of fungicides for control of *Fusarium* head blight [J]. *Plant Disease*, 2003, 87(9): 1107-1115

[19] Wegulo S N, Bockus W W, Nopsa J H, de Wolf E D, Eskridge K M, Peiris K H S, Dowell F E. Effects of integrating cultivar resistance and fungicide application on *Fusarium* head blight and deoxynivalenol in winter wheat[J]. *Plant Disease*, 2011, 95(5): 554-560

责任编辑：董金波