技术与应用
Technology & Application

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

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

（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 为明确戊唑醇防治小麦赤霉病以及减少籽粒中DON(脱氧雪腐镰刀菌烯醇)毒素积累的关键时期，本研究于2015年和2016年在河南省焦作市温县进行了小麦花期前后不同时间喷施25%戊唑醇可湿性粉剂防治小麦赤霉病和减少籽粒中DON毒素积累的效果评价。试验结果表明：在2015年'豫保1号'和2016年'周麦18'上，齐穗期(Ⅰ-3，DAA＝－1，Zadoks＝59)、始花期(Ⅱ-1，DAA＝0，Zadoks＝61～64)、盛花末期(Ⅱ-2，DAA＝1，Zadoks＝69)、灌浆初期(Ⅲ-1，DAA＝4，Zadoks＝71)施药小麦赤霉病的病穗率、病情指数、病粒率和籽粒中DON毒素积累都显著减少($P<0.05$)，以始花期或盛花末期施药防治效果最好；抽穗盛期(Ⅰ-1，DAA＝－6，Zadoks＝55)和齐穗期(Ⅰ、Ⅰ-2，DAA＝－2、－4，Zadoks＝59)施药在病穗率上都没有防治效果，而在病粒率上显著减少($P<0.05$)；乳熟期(Ⅲ-2，DAA＝10，Zadoks＝73)施药在病穗率、病情指数和籽粒中DON毒素积累都没有防治效果。此外，齐穗期(Ⅰ、Ⅰ-2，DAA＝－2或－3、－4，Zadoks＝59)防治效果不稳定。2015年'豫保1号'不施农药对照的病穗率高(85%)的条件下，齐穗期(Ⅰ，DAA＝－2，Zadoks＝59)喷药能显著降低病粒率和籽粒中DON毒素积累，并显著提高产量($P<0.05$)，2016年'豫保1号'不施农药对照的病穗率低(14.5%)的条件下齐穗期(Ⅰ，DAA＝－3，Zadoks＝59)喷药能显著降低病粒率($P<0.05$)，但在籽粒中DON毒素积累和产量上没有防治效果，2016年'周麦18'上齐穗期(Ⅰ-2，DAA＝－4，Zadoks＝59)喷药能显著降低病情指数和病粒率，但在籽粒中DON毒素积累和产量上没有防治效果。药剂不同时期施用对小麦赤霉病的防治效果受到年份和发病情况的影响。

关键词 小麦； 小麦赤霉病； 防治时期； 脱氧雪腐镰刀菌烯醇

中图分类号： S435.121.45 **文献标识码：** B **DOI：** 10.16688/j.zwbh.2017133

Effect of tebuconazole application time on Fusarium head blight and the accumulation of deoxynivalenol in winter wheat

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

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

Abstract In order to clarify the effect of tebuconazole application time on FHB and deoxynivalenol (DON) accumulation in wheat, field experiments were conducted in Wenxian County of Henan Province in 2015 and 2016. Treatments consisted of an untreated check and fungicide applications at early heading stage (Ⅰ-1, DAA＝－6, Zadoks＝55), heading stage (Ⅰ、Ⅰ-2、Ⅰ-3, DAA＝－2 or －3、－4、－1, Zadoks＝59), early anthesis stage (Ⅱ-1, DAA＝0, Zadoks＝61～64), later anthesis stage (Ⅱ-2, DAA＝1, Zadoks＝69), early filling stage (Ⅲ-1, DAA＝4, Zadoks＝71), milking stage (Ⅲ-2, DAA＝10, Zadoks＝73). Field trials on 'Yubao 1' of 2015 and 'Zhoumai 18' of 2016 showed that fungicide applications at heading stage (Ⅰ-3, DAA＝－1, Zadoks＝59), early anthesis stage (Ⅱ-1, DAA＝0, Zadoks＝61～64), later anthesis stage (Ⅱ-2, DAA＝1, Zadoks＝69) and early filling stage (Ⅲ-1,

收稿日期： 2017－04－10 **修订日期：** 2017－05－16
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

DAA=4,Zadoks=71) significantly reduced Fusarium head blight (FHB) incidence (Ⅰ), FHB disease index (D), percentage of diseased kernels (PDK) and deoxynivalenol concentration (DON) ($P<0.05$). The most effective stage of the fungicide application was the early anthesis stage or later anthesis stage. Fungicide applications at early heading stage (Ⅰ-1,DAA=−6,Zadoks=55) and heading stage (Ⅰ、Ⅰ-2,DAA=−2、−4,Zadoks=59) only significant reduced the percentage of diseased kernels (PDK) ($P<0.05$). Fungicide applications at milking stage (Ⅲ-2,DAA=10,Zadoks=73) have no control effect. The control effect at heading stage (Ⅰ、Ⅰ-2,DAA=−2 or −3、−4,Zadoks=59) is not stable. When the disease on 'Yubao 1' occurred more seriously in 2015, fungicide applied at heading stage could reduce the PDK and mycotoxin concentration, and increased the yield ($P<0.05$). However, when the disease occurred weakly on 'Yubao 1' in 2016, fungicide applied at heading stage only reduced the PDK ($P<0.05$). Fungicide applied at heading stage (Ⅰ,DAA=−4,Zadoks=59) on 'Zhoumai 18' in 2016 had good control effect on the disease index and PDK ($P<0.05$). The control efficiency of fungicides applied at different time was influenced by the disease severity in different years.

Key words wheat; Fusarium head blight; timing of fungicide application; deoxynivalenol

小麦赤霉病(Fusarium head blight)是小麦上的重要病害,不仅造成小麦产量损失,还在病小麦籽粒中产生 DON 毒素,对人畜健康造成严重影响[1-3]。赤霉病引起的小麦籽粒中毒素含量超标不仅在我国存在,在世界各国小麦种植区都有报道[4-5]。

引起小麦赤霉病的主要病原菌是禾谷镰刀菌复合群,其中 *F. graminearum* sensu stricto 和 *F. asiaticum* 是禾谷镰刀菌复合群中最重要且分布最广泛的两个进化种[6-10]。通过多重 PCR 将禾谷镰刀菌复合群的毒素产生类型分为 15-乙酰基脱氧雪腐镰刀菌烯醇(15-acetyl deoxynivalenol, 15ADON)、3-乙酰基脱氧雪腐镰刀菌烯醇(3-acetyl deoxynivalenol, 3ADON)和雪腐镰刀菌烯醇(nivalenol, NIV)[11]。我国长江中下游麦区和西南麦区主要分布的是 *F. asiaticum* (产 3ADON 和 NIV),华北冬麦区和西北春麦区主要分布的是 *F. graminearum* s. str. (产 15ADON)[12-15]。喷施杀菌剂是防治小麦赤霉病的主要技术措施,防治赤霉病时选择喷药的时期非常关键。国外研究显示,在花期对小麦赤霉病进行药剂防治可以显著减少病穗率和降低病情指数[16-19,23],防治时期越接近花期,对病情指数和 DON 的防治效果越好[20]。还有报道指出,灌浆初期(扬花后 5～11 d)进行药剂防治能有效控制小麦赤霉病的病情[21],乳熟期(花期后 20 d)防治小麦赤霉病也能显著降低小麦籽粒中的毒素[22]。

近年来,华北冬麦区小麦赤霉病发生呈加重趋势,该地区缺少抗病品种,对赤霉病主要依赖药剂防治。不同地区在同一个小麦生育期用药,防治效果差异很大[18, 24],而且花期遇雨等自然天气情况造成无法按最佳时期施药。本文的目的是进一步明确小麦赤霉病防治和籽粒中 DON 毒素控制的最佳时期以及在最佳防治时期前后一段时期喷施药剂对小麦赤霉病的发生和 DON 毒素在籽粒中积累的影响,为生产实际中药剂防治提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试小麦品种和田间试验设计

供试小麦品种'豫保 1 号'和'周麦 18',为小麦赤霉病感病品种[25],由河南省农业科学院植物保护研究所保存和提供。'豫保 1 号'为河南省农业科学院植物保护研究所选育的半冬性品种,亲本为'豫麦 2 号'/'周 8826';'周麦 18'为河南省周口农业科学院选育的半冬性品种,也是河南省小麦品种区试的对照品种,亲本为'内乡 185'/'周麦 9 号'。

分别于 2015 年和 2016 年在河南省焦作市温县黄庄镇西虢村(东经 112.9594°,北纬 34.9802°,海拔 112.8 m)进行不同防治时期喷施 25%戊唑醇可湿性粉剂对小麦赤霉病病情以及籽粒中 DON 毒素积累的影响试验。2015 年试验小麦品种为'豫保 1 号',2016 年试验小麦品种为'豫保 1 号'和'周麦 18'。每个小区宽 2 m,长 6 m,每个处理 3 个小区重复,行距 20 cm,播种量为 135～150 kg/hm^2。按常规措施进行田间管理。2015 年于 10 月 8 日播种,2016 年 6 月 5 日收获;2016 年于 10 月 10 日播种,2017 年 6 月 6 日收获。早春进行除草剂的喷施,杀虫剂的喷施选择上午进行且与杀菌剂的时间错开,2016 年除草剂的喷施为 2016 年 2 月 27 日,杀虫剂的喷施在 2016 年 4 月 23 日。

1.2 接种物的培养

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(表 1)。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(5 mm)菌落边缘菌丝块转接到 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/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悬浮液浓度并置于−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[26]。

1.3　田间接种

试验设置 3 个不同时期进行药剂防治,即:扬花前喷施农药(Ⅰ),扬花期喷施农药(Ⅱ),扬花后喷施农药(Ⅲ)。每个时期根据距离扬花初期的天数(days after anthesis, DAA)分为不同的处理,并采用 Zadoks[27]标准记录每个处理的小麦生育期。处理包括:抽穗盛期(Ⅰ-1,DAA=−6,Zadoks=55)、齐穗期(Ⅰ、Ⅰ-2、Ⅰ-3,DAA=−2 或−3、−4、−1,Zadoks=59)、始花期(Ⅱ-1,DAA=0,Zadoks=61~64)、盛花末期(Ⅱ-2,DAA=1,Zadoks=69)、灌浆初期(Ⅲ-1,DAA=4,Zadoks=71)、乳熟期(Ⅲ-2,DAA=10,Zadoks=73)。防治药剂为 25%戊唑醇可湿性粉剂(江苏盐城双宁农化有限公司,江苏阜宁),用量为 450 g/hm²,用水量为 750 L/hm²。选择晴天无风天气,下午 4:00 后使用小型喷雾器(1.2 L 气压式喷雾器)进行喷雾。于盛花末期统一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)喷雾接种禾谷镰刀菌,接种前先喷水保湿,用水量为 375 L/hm²,接种用分生孢子悬浮液浓度为 5×10^4 个/mL,用量为 50 mL/m²,用水量为 750 L/hm²。接种后连续 5 d 每天使用手持式电动喷雾器喷清水 2 次进行保湿以保证发病条件,每次用水量为 750 L/hm²。盛花末期(Ⅱ-2,DAA=1,Zadoks=69)的药剂处理在接种之前进行。

表 1　本文中使用的禾谷镰孢菌株的采集地和毒素化学型信息

Table 1　Origin and trichothecene type of *Fusarium graminearum* isolates in the study

菌株编号 Strain	来源 Source	进化种 Species	毒素化学型 Trichothecene type
14AY1-2	河南安阳 Anyang, Henan Province	*F. graminearum* s. str.	15-ADON
14LY9-2-4	河南洛阳 Luoyang, Henan Province	*F. graminearum* s. str.	15-ADON
14YY1-3	河南原阳 Yuanyang, Henan Province	*F. graminearum* s. str.	15-ADON
14KF3-8	河南开封 Kaifeng, Henan Province	*F. graminearum* s. str.	15-ADON
14ZK1-4	河南周口 Zhoukou, Henan Province	*F. graminearum* s. str.	15-ADON

1.4　病情记载和采后分析

接种 3 个星期后(蜡熟期之前)调查病穗率和病级,调查时使用 0.667 m² 的样方框,每个小区 4 个重复,将框内的病穗数和病级分别记载[28]。

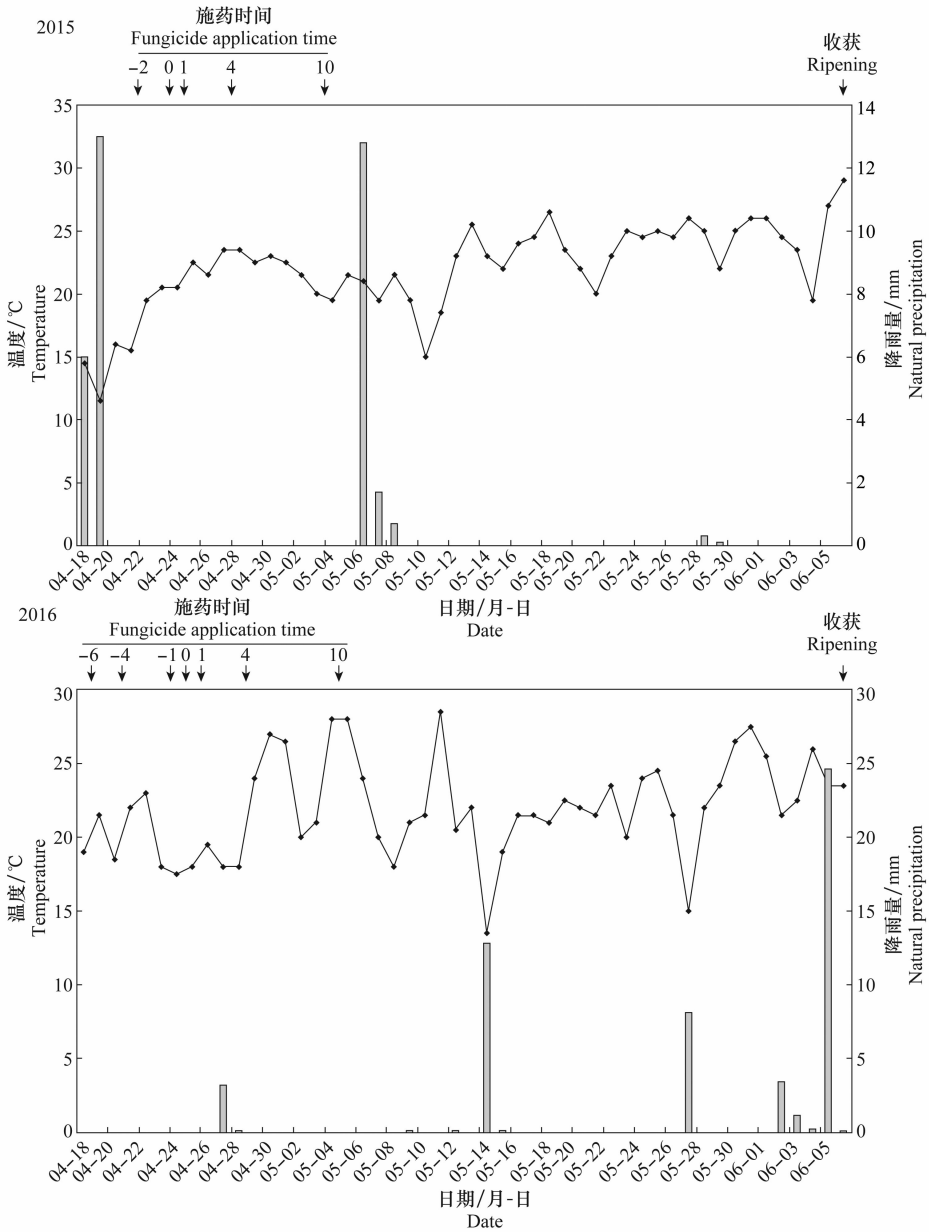
麦子成熟后(DAA=40),所有处理的每个小区取 3 个 0.667 m²,使用小型脱粒机脱粒,晾干后分别装在网袋中并称量;每袋中取两个 500 粒麦粒分别称量,并记录其中的病粒数。将各处理的籽粒样本用德国莱驰粉碎仪(ZM200, 1.5 mm 不锈钢环筛)进行粉碎,过 20 目筛,然后称取粉碎后的样本 5 g 装入 50 mL 离心管中进行 DON 测定,每个样品粉碎后,严格清理以避免相互污染,最后放入 4℃冰箱中保存。

在装有 5 g 样品粉末的 50 mL 离心管中加入 5 倍质量的蒸馏水,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(R5906)试剂盒检测样品中 DON 毒素,操作步骤按照 ELISA 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 德国拜发应用软件 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　试验田寄主生育期、施药期和田间气象因子

2015 年'豫保 1 号'4 月 24 日扬花 35%,4 月 25 日扬花 90%,4 月 18 日−6 月 6 日的平均温度为 22℃,降雨量为 34.6 mm,主要分布在抽穗期和乳熟期。2016 年'豫保 1 号'4 月 24 日扬花 80%,4 月 25 日扬花 100%;而'周麦 18'4 月 25 日扬花 15%,4 月 26 日扬花 90%,4 月 18 日−6 月 6 日的平均温度为 22℃,降雨量为 53.9 mm,主要分布在乳熟期和收获期。



黑色箭头指示为花期前后的农药喷施时间。上面的图表示的为2015年'豫保1号'的农药喷施时间，下面的图表示的为2016年'周麦18'农药喷施的时间

Fungicide application time is indicated by bold solid arrows with the days after anthesis (DAA). Above diagram indicated the fungicide application time on wheat cultivar 'Yubao 1' in 2015, the diagram below shows the fungicide application time on wheat cultivar 'Zhoumai 18' in 2016

图 1　2015 年和 2016 年小麦抽穗期到收获期每天的降雨量和平均温度

Fig. 1　Daily mean temperature and daily precipitation during the test period in 2015 and 2016

2.2　不同时期使用药剂防治赤霉病的效果比较

2015 年小麦赤霉病病穗率和病情指数高于 2016 年。2015 年不同防治时期施药对'豫保 1 号'小麦赤霉病病情以及籽粒中 DON 毒素积累的影响试验结果表明：不施药对照的病穗率为 85.0%，病情指数为 51.49，千粒重为 37.27 g，单位面积产量为 422.68 kg/667m^2，病粒率 18.75%，籽粒中 DON 毒素含量为 19.05 mg/kg。始花期（Ⅱ-1，DAA＝0，Zadoks＝63～64）、盛花末期（Ⅱ-2，DAA＝1，Zadoks＝69）、灌浆初期（Ⅲ-1，DAA＝4，Zadoks＝71）施药处理的小麦其病穗率、病情指数、千粒重和病粒率分别为 52.5%、21.77、43.53 g、7.67%，64.6%、29.69、45.14 g、8.17%和 70.8%、34.58、41.70 g、10.58%，与不施药对照有显著差异（$P<0.05$，表 2）；而齐穗

期(Ⅰ,DAA=−2,Zadoks=59)施药的处理只有病粒率和籽粒中 DON 毒素含量显著低于不施药对照($P<0.05$);乳熟期(Ⅲ-2,DAA=10,Zadoks=73)施药的处理与不施药对照在所有指标上都没有显著差异,表明对小麦赤霉病没有防治效果。从籽粒中 DON 含量上看,齐穗期(Ⅰ,DAA=−2,Zadoks=59)、始花期(Ⅱ-1,DAA=0,Zadoks=63～64)、盛花末期(Ⅱ-2,DAA=1,Zadoks=69)施药的处理之间没有显著差异,显著低于不施药对照($P<0.05$,表 2);灌浆初期(Ⅲ-1,DAA=4,Zadoks=71)和乳熟期(Ⅲ-2,DAA=10,Zadoks=73)施药的处理与不施药对照没有显著差异。从单位面积产量上看,齐穗期(Ⅰ,DAA=−2,Zadoks=59)和始花期(Ⅱ-1,DAA=0,Zadoks=63～64)施药能显著提高小麦产量,与不施农药对照有显著差异($P<0.05$,表 2)。

2016 年不同防治时期施药对'豫保 1 号'小麦赤霉病病情以及籽粒中 DON 毒素积累的影响试验结果表明:不施药对照的病穗率为 14.5%,病情指数为5.85,千粒重为 49.22 g,单位面积产量为 581.40 kg/667m^2,病粒率 10.33%,籽粒中 DON 毒素含量为3.77 mg/kg。齐穗期(Ⅰ,DAA=−3,Zadoks=59)、盛花末期(Ⅱ-1,DAA=0,Zadoks=68)、灌浆初期(Ⅲ-1,DAA=4,Zadoks=71)和乳熟期(Ⅲ-2,DAA=10,Zadoks=73)施药处理的小麦其病穗率、病情指数和籽粒中 DON 毒素含量与对照均没有显著差异,只有盛花末期(Ⅱ-2,DAA=1,Zadoks=69)施药的处理各项指标与对照均有显著差异($P<0.05$,表 2)。

表 2　不同时期喷施戊唑醇对小麦赤霉病病穗率、严重度、千粒重、产量、病粒率和籽粒中 DON 积累的影响[1)]

Table 2　Effect of various time of tebuconazole application on Fusarium head blight (FHB) incidence (I), FHB disease index (D), thousand kernel weight (TKW), unit area yield of 1/15 hm^2 (UAY), percentage of diseased kernels (PDK) and deoxynivalenol concentration (DON) after each treatment in each year and cultivar

喷药时间 Time of fungicide application	扬花前后天数/d DAA	Zadoks	病穗率/% Rate of diseased ear	病情指数 Disease index	千粒重/g Thousand kernel weight	产量/kg·(667 m^2)$^{-1}$ Yield	病粒率/% Rate of diseased kernel	DON 含量/mg·kg^{-1} Content of DON
2015 年'豫保 1 号'　2015,'Yubao 1'								
齐穗期Ⅰ Heading stage Ⅰ	−2	59	75.0 bc	36.25 bc	43.02 ab	489.89 ab	8.75 bc	11.13 b
始花期Ⅱ-1 Flowering stage Ⅱ-1	0	63～64	52.5 d	21.77 c	43.53 ab	526.70 a	7.67 c	7.62 b
盛花末期Ⅱ-2 Flowering stage Ⅱ-2	1	69	64.6 cd	29.69 c	45.14 a	481.53 abc	8.17 c	8.11 b
灌浆初期Ⅲ-1 Early filling stage Ⅲ-1	4	71	70.8 c	34.58 c	41.70 b	470.88 abc	10.58 b	13.87 ab
乳熟期Ⅲ-2 Milking stage Ⅲ-2	10	73	86.3 a	51.77 a	38.12 c	450.49 bc	18.17 a	20.33 a
不施农药对照 No fungicide			85.0 ab	51.49 ab	37.27 c	422.68 c	18.75 a	19.05 a
LSD (P=0.05)			8.5	15.42	2.13	59.79	2.66	6.86
2016 年'豫保 1 号'　2016,'Yubao 1'								
齐穗期Ⅰ Heading stage Ⅰ	−3	59	17.4 a	5.13 a	50.07 ab	620.14 bc	4.54 b	3.43 a
盛花末期Ⅱ-1 Flowering stage Ⅱ-1	0	68	14.7 a	5.37 a	50.53 ab	647.10 ab	8.98 ab	3.56 a
盛花末期Ⅱ-2 Flowering stage Ⅱ-2	1	69	5.1 b	1.43 b	52.29 a	701.10 a	5.37 ab	0.58 b
灌浆初期Ⅲ-1 Early filling stage Ⅲ-1	4	71	10.4 ab	3.62 ab	51.59 a	640.86 abc	4.53 b	3.13 ab
乳熟期Ⅲ-2 Milking stage Ⅲ-2	10	73	12.4 a	5.10 a	50.56 ab	594.09 bc	6.10 b	4.72 a
不施农药对照 No fungicide			14.5 a	5.85 a	49.22 b	581.40 c	10.33 a	3.77 a
LSD (P=0.05)			5.9	3.45	2.30	64.22	4.88	2.55
2016 年'周麦 18'　2016,'Zhoumai 18'								
抽穗盛期Ⅰ-1 Heading stage Ⅰ-1	−6	55	31.4 a	11.83 a	43.52 b	511.43 cd	14.90 bc	22.96 a
齐穗期Ⅰ-2 Heading stage Ⅰ-2	−4	59	25.8 a	9.44 b	45.27 b	530.59 bcd	12.12 cd	24.69 a
齐穗期Ⅰ-3 Heading stage Ⅰ-3	−1	59	11.9 b	3.79 c	47.69 a	655.76 a	9.73 def	14.79 b
始花期Ⅱ-1 Flowering stage Ⅱ-1	0	61～62	10.6 b	3.51 c	48.32 a	556.25 bc	7.15 ef	13.52 bc
盛花末期Ⅱ-2 Flowering stage Ⅱ-2	1	69	4.8 c	1.58 c	47.76 a	572.57 b	6.53 f	8.61 c
灌浆初期Ⅲ-1 Early filling stage Ⅲ-1	4	71	14.3 b	4.77 c	48.61 a	552.82 bc	9.98 de	10.36 bc
乳熟期Ⅲ-2 Milking stage Ⅲ-2	10	73	29.6 a	10.07 ab	44.04 b	501.12 d	17.68 b	23.62 a
不施农药对照 No fungicide			31.4 a	11.40 a	44.24 b	497.26 d	23.42 a	24.90 a
LSD (P=0.05)			3.8	1.89	1.85	47.28	3.33	5.35

1) 接种 3 个星期后调查病穗率和病级;收获后进行千粒重、产量和籽粒中 DON 含量的测定。表中同一年同一个品种的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($P>0.05$)。

Fusarium head blight (FHB) incidence (I) and FHB disease index (D) were investigated on 3 weeks after inoculation, thousand kernel weight (TKW), unit area yield of 667 m^2 (UAY) and percentage of diseased kernels (PDK) were determined after harvest. The same lowercase letters in the same columns of each wheat cultivar in 2015 or 2016 indicate no significant difference at 0.05 level according to Fisher's Protected Least Significant Difference Test.

2016 年不同防治时期施药对‘周麦 18’小麦赤霉病病情以及籽粒中 DON 毒素积累的影响试验结果表明：不施药对照的病穗率为 31.4%，病情指数为 11.40，千粒重为 44.24 g，单位面积产量为 497.26 kg/667m^2，病粒率 23.42%，籽粒中 DON 毒素含量为 24.90 mg/kg。齐穗期（Ⅰ-2，DAA＝－4，Zadoks＝59）施药能显著减轻病情指数和病粒率（$P<0.05$），但对病穗率、籽粒中 DON 的积累、千粒重以及单位面积产量没有防治效果；而抽穗盛期（Ⅰ-1，DAA＝－6，Zadoks＝55）、乳熟期（Ⅲ-2，DAA＝10，Zadoks＝73）施药的处理，除病粒率外，其他指标与不施药对照均无显著差异。齐穗期（Ⅰ-3，DAA＝－1，Zadoks＝59）、始花期（Ⅱ-1，DAA＝0，Zadoks＝61～62）、盛花末期（Ⅱ-2，DAA＝1，Zadoks＝69）、灌浆初期（Ⅲ-1，DAA＝4，Zadoks＝71）施药的处理在所有指标上都有防治效果，且与不施农药的对照差异显著（$P<0.05$）。

3 讨论

本文试验结果表明，无论是年份，还是不同发病情况，不同小麦品种，盛花末期（Ⅱ-2，DAA＝1，Zadoks＝69）均为赤霉病防治和籽粒中 DON 控制的最佳时期。这与前人报道的花期是小麦最易感染赤霉病菌的时期一致的[20]。

华北冬麦灌溉区小麦赤霉病的最佳防治时期是花期，但是花期前 1 d 和后 4 d 之间都可以进行防治，花期 4 d 后，或者小麦赤霉病显症后，防治效果不理想，不宜进行防治。此结果与前人研究结果有不同之处。对于扬花前的防治时间，Pirgozliev 等发现扬花前 2 d 施药也有较好的防治效果[29]，Edwards 等发现拔节期施药能显著降低病穗率和籽粒中 DON 含量[30]。本研究中 2015 年‘豫保 1 号’齐穗期（Ⅰ，DAA＝－2，Zadoks＝59）、2016 年‘豫保 1 号’齐穗期（Ⅰ，DAA＝－3，Zadoks＝59）施药、2016 年‘周麦 18’齐穗期（Ⅰ-2，DAA＝－4，Zadoks＝59）和抽穗盛期（Ⅰ-1，DAA＝－6，Zadoks＝55）施药，从病穗率上看都没有防治效果，而从病粒率上看都有显著的防治效果（$P<0.05$）。此外，除 2015 年‘豫保 1 号’齐穗期（Ⅰ，DAA＝－2，Zadoks＝59）施药能显著降低籽粒 DON 含量（$P<0.05$），2016 年‘周麦 18’齐穗期（Ⅰ-2，DAA＝－4，Zadoks＝59）施药能显著降低病情指数（$P<0.05$），在其他情况下都没有防治效果。对于扬花后的防治时间，Freije 和 Wise 研究发现扬花后 1、3、5、7、9 和 11 d 施药都能显著减轻小麦赤霉病病情并减少籽粒中 DON 的积累[21]。而 Yoshida 等研究发现扬花 10 d 后施药对病穗率、病情指数、病粒率和籽粒中 DON 积累都没有显著的控制效果[22]。本研究结果中除 2016 年的‘豫保 1 号’外，2015 年‘豫保 1 号’和 2016 年‘周麦 18’灌浆初期（Ⅲ-1，DAA＝4，Zadoks＝71）施药在病穗率、病情指数、千粒重、病粒率上都有显著的防治效果（$P<0.05$）。除病粒率外，乳熟期（Ⅲ-2，DAA＝10，Zadoks＝73）施药在所有指标上都没有防治效果。除 2016 年的‘豫保 1 号’外，本研究结果与前人结果相同。目前由于本区域使用的主要药剂之一为戊唑醇，花期前的时间难以掌握且防治效果不理想，因此推荐使用时间为花期，最迟可以到花期后 4 d。

虽然花期是防治小麦赤霉病的最佳时期，但是药剂防治的效果并不是很稳定和持续[16-19]。本研究中花期进行防治的效果都为最好，但是花期前后的防治效果在不同年份、不同发病情况有一些差异。在 2015 年‘豫保 1 号’小麦赤霉病发病较重（不施农药对照的病穗率为 85%）时，花期前后喷施农药都有一定效果，但是 2016 年‘豫保 1 号’小麦赤霉病发病较轻（不施农药对照的病穗率 14.5%）时，花期前后和始花期施药都没有防治效果，盛花期喷药才有效果。本研究采用的是盛花末期喷雾接种的方式，与自然条件下田间不间断菌源不一样，还需要多地点多年份的田间自然条件下防治时期的进一步研究。此外，对于小麦赤霉病的防治，不能仅仅依靠药剂，应该结合品种抗性和小麦赤霉病预测预报，来提高小麦赤霉病的综合防治能力[31-32]。

参考文献

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

[2] 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.

[3] 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.

[4] 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.

[5] DONG Fei, QIU Jianbo, XU Jianhong, et al. Effect of environmental factors on *Fusarium* population and associated trichothecenes in wheat grain grown in Jiangsu Province, China [J]. International Journal of Food Microbiology, 2016, 230: 58－63.

[6] O'DONNELL K, KISTLER H C, TACKE B K, et al. Gene genealogies reveal global phylogeographic structure and reproductive isolation among lineages of *Fusarium graminearum*, the fungus causing wheat scab [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2000, 97(14): 7905 - 7910.

[7] O'DONNELL K, WARD T J, ABERRA D, et al. Multilocus genotyping and molecular phylogenetics resolve a novel head blight pathogen within the *Fusarium graminearum* species complex from Ethiopia [J]. Fungal Genetics and Biology, 2008, 45(11): 1514 - 1522.

[8] O'DONNELL K, WARD T J, GEISER D M, et al. Genealogical concordance between the mating type locus and seven other nuclear genes supports formal recognition of nine phylogenetically distinct species within the *Fusarium graminearum* clade [J]. Fungal Genetics and Biology, 2004, 41(6): 600 - 623.

[9] SARVER B A J, WARD T J, GALE L R, et al. Novel Fusarium head blight pathogens from Nepal and Louisiana revealed by multilocus genealogical concordance [J]. Fungal Genetics and Biology, 2011, 48(12): 1096 - 1107.

[10] STARKEY D E, WARD T J, AOKI T, et al. Global molecular surveillance reveals novel Fusarium head blight species and trichothecene toxin diversity [J]. Fungal Genetics and Biology, 2007, 44(11): 1191 - 1204.

[11] WARD T J, BIELAWSKI J P, KISTLER H C, et al. Ancestral polymorphism and adaptive evolution in the trichothecene mycotoxin gene cluster of phytopathogenic *Fusarium* [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2002, 99(14): 9278 - 9283.

[12] QU Bo, LI Heping, ZHANG Jingbo, et al. Geographic distribution and genetic diversity of *Fusarium graminearum* and *F. asiaticum* on wheat spikes throughout China [J]. Plant Pathology, 2007, 57(1): 15 - 24.

[13] ZHANG Hao, VAN DER LEE T, WAALWIJK C, et al. Population analysis of the *Fusarium graminearum* species complex from wheat in China show a shift to more aggressive isolates [J]. PLoS ONE, 2012, 7(2): e31722.

[14] SHEN C M, HU Y C, SUN H Y, et al. Geographic distribution of trichothecene chemotypes of the *Fusarium graminearum* species complex in major winter wheat production areas of China [J]. Plant Disease, 2012, 96(96): 1172 - 1178.

[15] 胡迎春,李伟,陈怀谷,等. 中国冬小麦主产区小麦赤霉病菌种群组成及其致病力[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(5): 954 - 960.

[16] IOOS R, BELHADJ A, MENEZ M, et al. The effects of fungicides on *Fusarium* spp. and *Microdochium nivale* and their associated trichothecene mycotoxins in French naturally-infected cereal grains [J]. Crop Protection, 2005, 24(10): 894 - 902.

[17] JONES R K. Assessments of Fusarium head blight of wheat and barley in response to fungicide treatment [J]. Plant Disease, 2000, 84(9): 1021 - 1030.

[18] PAUL P A, LIPPS P E, HERSHMAN D E, et al. A quantitative review of tebuconazole effect on Fusarium head blight and deoxynivalenol content in wheat [J]. Phytopathology, 2007, 97(2): 211 - 220.

[19] PAUL P A, LIPPS P E, HERSHMAN D E, et al. Efficacy of triazole-based fungicides for Fusarium head blight and deoxynivalenol control in wheat: a multivariate meta-analysis [J]. Phytopathology, 2008, 98(9): 999 - 1011.

[20] PARRY D W, JENKINSON P, MCLEOD L. Fusarium ear blight (scab) in small-grain cereals: a review [J]. Plant Pathology, 1995, 44(2): 207 - 238.

[21] FREIJE A N, WISE K A. Impact of *Fusarium graminearum* inoculum availability and fungicide application timing on Fusarium head blight in wheat [J]. Crop Protection, 2015, 77: 139 - 147.

[22] YOSHIDA M, NAKAJIMA T, TOMIMURA K, et al. Effect of the timing of fungicide application on Fusarium head blight and mycotoxin contamination in wheat [J]. Plant Disease, 2012, 96(6): 845 - 851.

[23] BLANDINO M, MINELLI L, REYNERI A. Strategies for the chemical control of Fusarium head blight: effect on yield, alveographic parameters and deoxynivalenol contamination in winter wheat grain [J]. European Journal of Agronomy, 2006, 25(3): 193 - 201.

[24] ŠÍP V, CHRPOVÁ J, VEŠKRNA O, et al. The impact of cultivar resistance and fungicide treatment on mycotoxin content in grain and yield losses caused by Fusarium head blight in wheat [J]. Czech Journal of Genetics and Plant Breeding, 2010, 46(1): 21 - 26.

[25] 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.

[26] 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.

[27] 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.

[28] 徐雍皋,方中达. 玉蜀黍赤霉对小麦品种致病力的测定方法和致病力的分化[J]. 植物病理学报, 1982, 12(4): 53 - 57.

[29] PIRGOZLIEV S R, RAY R, EDWARDS S G, et al. Effect of timing of fungicide application on the development of Fusarium head blight and the accumulation of deoxynivalenol (DON) in winter wheat grain [J]. Cereal Research Communications, 2008, 36(2): 289 - 299.

[30] EDWARDS S G, GODLEY N P. Reduction of Fusarium head blight and deoxynivalenol in wheat with early fungicide applications of prothioconazole [J]. Food Additives and Contaminations-Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment, 2010, 27(5): 629 - 635.

[31] ROSSI V, MANSTRETTA V, RUGGERI M. A multicomponent decision support system to manage Fusarium head blight and mycotoxins in durum wheat [J]. World Mycotoxin Journal, 2015, 8(5): 629 - 640.

[32] 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.

(责任编辑: 杨明丽)