

多菌灵及其复配制剂防治小麦赤霉病的应用效果

宋益民¹ 丛国林¹ 陈怀谷^{2*}

(1. 江苏沿江地区农业科学研究所, 南通 226541; 2. 江苏省农业科学院, 南京 210014)

摘要: 为测定在小麦赤霉病菌 *Fusarium graminearum* 抗性频率上升的条件下多菌灵及其复配制剂对小麦赤霉病的防效, 于2014—2016年监测了江苏省南通市同块试验田中小麦赤霉病菌对多菌灵的抗药性, 并进行了田间药效试验。结果表明, 2014、2015和2016年小麦赤霉病菌对多菌灵的抗性频率分别为22.97%、38.55%和43.38%, 呈逐年上升趋势。2016年戊唑醇及复配剂多菌灵·戊唑醇、多菌灵·三唑酮处理对小麦赤霉病的田间防效分别达97.82%、92.16%、85.98%, 增产效果分别达23.90%、23.54%、22.57%; 小麦样品(混粒)中DON毒素含量分别比空白对照降低57.39%、59.99%、43.34%, 均优于多菌灵单剂处理, 其中以戊唑醇及复配剂多菌灵·戊唑醇处理最好, 多菌灵·三唑酮处理次之。因此, 在抗性程度中等或偏轻的地区, 采用戊唑醇、复配剂多菌灵·戊唑醇防治小麦赤霉病可取得较好的防病、增产及降低DON毒素的效果。

关键词: 多菌灵; 复配制剂; 小麦赤霉病; 抗药性频率; DON毒素

Efficacy of carbendazim and its mixtures for controlling wheat scab

Song Yimin¹ Cong Guolin¹ Chen Huaigu^{2*}

(1. Jiangsu Yanjiang Institute of Agricultural Sciences, Nantong 226541, Jiangsu Province, China;
2. Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, Jiangsu Province, China)

Abstract: To determine the efficacy of carbendazim and its mixtures on controlling wheat scab in fields with increasing frequency of carbendazim-resistance isolates, the resistance of *Fusarium graminearum* populations to carbendazim was monitored in the same field from 2014 to 2016, and the efficacy of carbendazim and its mixtures were conducted correspondingly in 2015 and 2016. The results showed that the frequencies of resistant isolates against carbendazim were 22.97%, 38.55% and 43.38% in 2014, 2015 and 2016, respectively, with the trend rising year by year. Compared with the CK, the efficacy on wheat scab control of tebuconazole, carbendazim·tebuconazole and carbendazim·triadimefon treatments were 97.82%, 92.16% and 85.98% in 2016, respectively, and the yields of three treatments increased by 23.90%, 23.54% and 22.57%, respectively. The DON concentration in wheat grains collected from plots of three treatments reduced by 57.39%, 59.99% and 43.34%, respectively. The tebuconazole treatment and carbendazim·tebuconazole treatment were the best of all treatments, and better than the mixture of carbendazim·triadimefon treatment. Therefore, tebuconazole or carbendazim·tebuconazole could be used as alternatives to control wheat scab and to increase wheat yield, meanwhile reduce grain toxin at the low and medium level areas of infectious.

Key words: carbendazim; combinations; wheat scab; resistance frequency; DON toxin

赤霉病是小麦生产上的重要病害, 能造成不同程度穗腐, 造成千粒重下降, 产量降低。小麦赤霉病

基金项目: 江苏省科技支撑计划(农业部分)项目(BE2013432), 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(15)1001]

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: huaigu@hotmail.com

收稿日期: 2016-12-21

菌 *Fusarium graminearum* 可分泌产生脱氧雪腐镰刀菌烯醇 (deoxynivalenol, DON) 及玉米赤霉烯酮 (zearalenone, ZEN) 等毒素污染麦粒及多种小麦制品,能引起人和哺乳动物呕吐、腹泻、头晕等急性毒性和免疫功能下降等慢性毒性,严重威胁粮食安全和人畜健康(樊平声等,2009;樊平声,2010;鹿明广等,2012)。

赤霉病的防治主要通过以抗病品种为基础、以药剂防治为重点的综合防治方法。目前生产上种植的小麦品种大多是感病品种,在赤霉病重发或流行年份,化学防治仍然是控制该病发生的重要手段(邵振润等,2011;张洁等,2014)。自20世纪70年代以来,苯并咪唑类杀菌剂多菌灵一直是我国小麦赤霉病防治的主要药剂,由于长期单一使用,导致病原菌抗药性上升,防病效果降低(石志琦等,2000;钱恒伟等,2016)。为提高防效、延缓病原菌对多菌灵的抗药性,一些多菌灵的复配剂被开发并已逐步取代多菌灵单剂,如50%多·福·硫可湿性粉剂(刘峰等,2003)、59.7%咪鲜胺锰盐·多菌灵可湿性粉剂(刘军,2014)及28%烯炔菌酯·多菌灵可湿性粉剂(王慧等,2014)等。

由于不同地区多菌灵及其复配剂使用的年限和频次不尽相同,造成了不同区域及同一区域内不同田块病原菌的抗药性程度不一致,最终导致其防效不稳定,给实际防治工作造成一定难度。近年来,以戊唑醇、氟环唑等新型高效三唑类杀菌剂与多菌灵的复配剂开发与应用得到了重视(纪莉景等,2007;杜晓君等,2015)。毕秋艳等(2010)研究了多菌灵·戊唑醇复配剂对小麦赤霉病菌抗性菌株 Nj-1-1 的活性增效作用,发现该药剂可减慢抗药性菌株的孢子萌发速率,同时破坏其细胞膜的渗透性及内含物;陈香华等(2013)报道了30%多·酮可湿性粉剂在江苏省淮北地区防治小麦赤霉病和白粉病田间药效试验的效果;沈迎春等(2016)发现不同配比的多菌灵与戊唑醇对小麦赤霉病具有较好的防效,也可降低DON毒素;张怡等(2017)认为多菌灵防治小麦赤霉病的效果随着施药次数的增加而提高,其小麦籽粒中的多菌灵残留量也相应增加。随着氰烯菌酯、戊唑醇等新型高效杀菌剂在防治小麦赤霉病中的逐步推广应用(李恒奎等,2006;蒋尚军等,2015),这些新杀菌剂在多菌灵抗性治理中的作用也需要进一步研究。

本研究通过监测试验田块小麦赤霉病菌对多菌灵的抗性,并在此基础上选用多菌灵、多菌灵·三唑酮及多菌灵·戊唑醇复配剂,在江苏省南通市试验区

测定不同药剂处理对小麦赤霉病的田间防效、小麦产量及小麦籽粒中DON等毒素积累的影响,以期应用该类药剂防治小麦赤霉病提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试小麦品种及培养基:小麦品种宁麦13,购于当地市场。马铃薯葡萄糖琼脂(potato dextrose agar, PDA)培养基:200 g 马铃薯、20 g 葡萄糖、20 g 琼脂,1 000 mL 蒸馏水。

药剂及仪器:80%多菌灵(carbendazim)可湿性粉剂,江苏苏中农药化工厂;40%多菌灵·三唑酮(carbendazim·triadimefon)可湿性粉剂,江苏东台台南农药化工有限公司;30%多菌灵·戊唑醇(carbendazim·tebuconazole)悬浮剂,江苏龙灯化学有限公司;430 g/L 戊唑醇(tebuconazole)悬浮剂,拜耳作物科学(中国)有限公司;50%啞菌酯(azoxystrobin)水分散粒剂,河北冠龙农化有限公司。Triple Quad™ 3500质谱仪,美国AB SCIEX公司;20AD XR液相色谱仪,日本岛津公司;3WBD-16型智能电动喷雾器,工作压力为0.2~0.4 MPa,浙江锦欧机械有限公司。

1.2 方法

1.2.1 小麦赤霉病菌对多菌灵的抗性频率测定

试验于2014—2016年在江苏省南通市粮棉原种场稻麦轮作区同一块小麦试验田内进行。每年4月上旬小麦抽穗前在试验区内随机采集50个带有赤霉病菌子实体的稻桩,分装于纸质样品袋内带回实验室,将样品用清水冲洗,70%酒精喷雾消毒,再用清水冲洗,样品放在吸水纸上晾干。将消毒后的稻桩上的子囊壳挑至含30 μg/mL链霉素的PDA平板上,25℃培养2~3 d。配制含浓度5 mg/L多菌灵的PDA平板。分别从分离菌株的菌落边缘打取直径5 mm的菌丝块,接种到含多菌灵的PDA平板上,25℃下培养3 d后,检查病菌的生长情况,以不加任何药剂的PDA平板作对照。如果在含5 mg/L多菌灵的PDA平板上能够生长,表明该菌株对多菌灵表现抗性。抗性频率=抗性菌株数/测定总菌株数×100%。

1.2.2 防治小麦赤霉病田间药效试验

2015—2016年进行了多菌灵及其复配剂防治小麦赤霉病的田间药效试验。施药方法为小麦穗部喷雾,药液量为750 L/hm²。

2015年药效试验设8个处理:(1)80%多菌灵可湿性粉剂750 g (a.i.)/hm²于4月20日小麦抽穗期施

药 1 次; (2) 80% 多菌灵可湿性粉剂 750 g (a.i.)/hm² 于 4 月 25 日小麦扬花初期施药 1 次; (3) 80% 多菌灵可湿性粉剂 750 g (a.i.)/hm² 于 4 月 30 日小麦扬花盛末期施药 1 次; (4) 80% 多菌灵可湿性粉剂 750 g (a.i.)/hm² 于小麦抽穗期和扬花初期施药 2 次; (5) 80% 多菌灵可湿性粉剂 750 g (a.i.)/hm² 于小麦抽穗期和扬花盛末期施药 2 次; (6) 80% 多菌灵可湿性粉剂 750 g (a.i.)/hm² 于小麦扬花初期和扬花盛末期施药 2 次; (7) 80% 多菌灵可湿性粉剂 750 g (a.i.)/hm² 于小麦抽穗期、扬花初期和扬花盛末期施药 3 次; (8) 空白对照。每小区面积为 20 m², 随机区组排列, 重复 3 次。最后 1 次施药后 20 d 调查各处理小区小麦赤霉病发生的严重度。

2016 年药效试验设 13 个处理: (1) 80% 多菌灵可湿性粉剂 750 g (a.i.)/hm² 于 4 月 14 日小麦抽穗期施药 1 次; (2) 80% 多菌灵可湿性粉剂 750 g (a.i.)/hm² 于 4 月 19 日小麦扬花初期施药 1 次; (3) 80% 多菌灵可湿性粉剂 750 g (a.i.)/hm² 于 4 月 24 日小麦扬花盛末期施药 1 次; (4) 80% 多菌灵可湿性粉剂 750 g (a.i.)/hm² 于小麦抽穗期和扬花初期施药 2 次; (5) 80% 多菌灵可湿性粉剂 750 g (a.i.)/hm² 于小麦抽穗期和扬花盛末期施药 2 次; (6) 80% 多菌灵可湿性粉剂 750 g (a.i.)/hm² 于小麦扬花初期和扬花盛末期施药 2 次; (7) 80% 多菌灵可湿性粉剂 750 g (a.i.)/hm² 于小麦抽穗期、扬花初期和扬花盛末期施药 3 次; (8) 空白对照; (9) 30% 多菌灵·戊唑醇悬浮剂 450 g (a.i.)/hm² 于小麦扬花初期和扬花盛末期施药 2 次; (10) 40% 多菌灵·三唑酮可湿性粉剂 600 g (a.i.)/hm² 于小麦扬花初期和扬花盛末期施药 2 次; (11) 80% 多菌灵可湿性粉剂 1 125 g (a.i.)/hm² 于小麦扬花初期和扬花盛末期施药 2 次; (12) 430 g/L 戊唑醇悬浮剂 192 g (a.i.)/hm² 于小麦扬花初期和扬花盛末期施药 2 次; (13) 50% 噻菌酯水分散粒剂 200 g (a.i.)/hm² 于小麦扬花初期和扬花盛末期施药 2 次。每小区面积为 20 m², 随机区组排列, 重复 3 次。最后 1 次施药后 24 d 调查各处理小区小麦赤霉病发生的严重度。

参照标准 NY/T1464.15 进行小麦赤霉病严重度调查, 2015 年 5 月 20 日, 每小区对角线 5 点取样, 每点调查 1 000 穗小麦; 2016 年 5 月 18 日, 每小区对角线 5 点取样, 每点调查 500 穗。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=Σ(病穗数×相对级数值)/(调查总穗数×最高级数值)×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: 无病; 1 级: 病小穗数/总小穗数≤1/4; 3 级: 1/4<病小穗数/总小穗数≤1/2; 5 级: 1/2<病小穗数/总小穗数≤3/4; 7 级: 病小穗数/总小穗数>3/4。

产量测定取样分别于 2015 年 5 月 26 日和 2016 年 5 月 30 日进行, 每小区对角线 5 点取样, 每点取 0.2 m² 的麦穗。测定取样穗的平均穗粒数、千粒重, 计算理论产量。产量(kg/hm²)=平均穗粒数×千粒重(g)×密度(有效穗数/hm²)×10⁻⁶; 增产效果=(处理区理论产量-空白对照区理论产量)/空白对照区理论产量×100%。

1.2.3 小麦籽粒中毒素含量的测定

将上述每小区小麦样品平均分成 2 份。1 份供混粒毒素含量测定, 1 份则剔除其中病粒, 供健粒毒素含量测定。待所有样品粉碎后, 送至江苏省农业科学院食品质量与安全检测研究所, 参照标准 SN/T 3137—2012 和 GB/T 23504—2009 对 DON、3DON、15DON 及 ZEN 毒素含量进行测定。降毒效果=(空白对照区毒素含量-处理区毒素含量)/空白对照区毒素含量×100%。

1.3 数据分析

试验数据采用 SPSS 19.0 进行统计分析, 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 小麦赤霉病菌对多菌灵的抗性频率

小麦赤霉病菌对多菌灵的抗性测定结果显示, 2014 年共分离菌株 74 株, 其中抗性菌株 17 株, 抗性频率为 22.97%; 2015 年共分离菌株 83 株, 其中抗性菌株 32 株, 抗性频率为 38.55%; 2016 年共分离菌株 67 个, 其中抗性菌株 29 株, 抗性频率达 43.38%。

2.2 不同药剂对小麦赤霉病的防效及增产效果

2015 年试验田小麦赤霉病发生轻, 空白对照区病穗率和病情指数分别为 4.53% 和 1.60。多菌灵各处理的防效达 47.11%~89.81%, 增产效果达 5.63%~15.41%, 其中, 用药 2 次和 3 次处理的防效显著高于用药 1 次处理的防效, 其增产效果也略高于用药 1 次处理, 但各处理间均无显著差异(表 1)。2016 年试验田小麦赤霉病发生较重, 空白对照区病穗率和病情指数分别为 24.70% 和 15.05。多菌灵各处理的防效达 51.58%~82.81%, 增产效果达 8.15%~14.38%, 其结果与 2015 年的结果相仿(表 2)。

表1 2015年多菌灵各处理对小麦赤霉病的防效及对小麦产量的影响

Table 1 Effect of different carbendazim treatments on wheat scab and wheat yield in 2015

药剂 Fungicide	处理时间 Date	病穗率 (%) Disease incidence	病情指数 Disease index	防效 (%) Efficacy effect	产量 Yield (kg/hm ²)	增产效果 Yield- increased effect (%)
80%多菌灵	4-20	2.47±0.12 Dd	0.83±0.05 Bc	47.86±4.91 Aa	7 485.50±546.30 Aab	5.63±7.05 a
可湿性粉剂	4-25	1.93±0.31 BCDcd	0.68±0.08 Bc	57.18±8.30 ABa	7 662.52±737.90 Aab	8.22±11.57 a
80% carben-	4-30	2.08±0.42 CDd	0.84±0.20 Bc	47.11±14.67 Aa	7 582.04±369.30 Aab	7.05±6.26 a
dazim WP	4-20, 4-25	1.37±0.31 ABab	0.37±0.03 Ab	76.42±4.43 Cbc	8 056.60±134.76 Ab	13.72±2.66 a
	4-20, 4-30	1.40±0.20 ABCbc	0.39±0.08 Ab	75.06±6.90 BCb	8 008.27±410.74 Aab	13.08±7.00 a
	4-25, 4-30	1.15±0.23 Aab	0.36±0.03 Ab	77.10±3.87 Cbc	8 139.52±599.78 Ab	14.92±9.03 a
	4-20, 4-25, 4-30	0.60±0.20 Aa	0.16±0.02 Aa	89.81±1.36 Cc	8 175.26±595.83 Ab	15.41±8.75 a
对照CK		4.53±0.58 Ee	1.60±0.20 Cd	—	7 085.12±72.91 Aa	—

表中数据为平均数±标准差。同列数据后不同大、小字母分别表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.01$ 或 $P<0.05$ 水平差异显著。Data in the table are mean±SD. Different uppercase or lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P<0.01$ or $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test, respectively.

2016 年对多菌灵及其复配剂对小麦赤霉病防效及小麦产量的测定结果显示,430 g/L 戊唑醇悬浮剂 192 g (a.i.)/hm²、30% 多菌灵·戊唑醇悬浮剂 450 g (a.i.)/hm²、40% 多菌灵·三唑酮可湿性粉剂 600 g (a.i.)/hm² 处理防效分别为 97.82%、92.16%、85.96%,戊唑醇及复配剂多菌灵·戊唑醇处理防效均显著高于多菌灵处理;430 g/L 戊唑醇悬浮剂 192 g (a.i.)/hm²、

30% 多菌灵·戊唑醇悬浮剂 450 g (a.i.)/hm² 和 40% 多菌灵·三唑酮可湿性粉剂 600 g (a.i.)/hm² 的增产效果分别为 23.90%、23.54%、22.57%,高于多菌灵处理,但差异不显著。50% 啞菌酯水分散粒剂 200 g (a.i.)/hm² 处理防效和增产效果分别为 91.13% 和 30.19%,均显著高于多菌灵处理(表2)。

表2 2016年多菌灵及其复配剂等处理对小麦赤霉病的防效及小麦产量的影响

Table 2 Effects of carbendazim and its mixtures on wheat scab and wheat yield in 2016

处理 Treatment	时间 Date	病穗率 (%) Disease incidence	病情指数 Disease index	防效 (%) Efficacy effect	产量 Yield (kg/hm ²)	增产效果 Yield- increased effect (%)
1	4-14	12.37±1.37 Df	6.74±0.72 EFe	54.27±6.17 Aa	5 990.90±542.30 ABab	8.61±11.36 Aa
	4-19	10.27±1.25 CDef	5.87±0.71 DEFde	60.09±6.49 ABa	5 984.83±668.58 ABab	8.15±8.40 Aa
	4-24	11.77±1.43 Df	7.17±0.97 Fe	51.58±5.24 Aa	5 992.18±680.72 ABab	8.29±8.70 Aa
	4-14, 4-19	7.87±1.47 BCDede	4.03±0.36 CDEcd	72.59±4.12 Cb	6 221.43±164.02 ABab	12.68±3.50 Aa
	4-14, 4-24	8.00±2.12 BCDde	4.46±1.39 CDEFcd	70.67±2.24 BCb	6 079.33±101.11 ABab	10.16±5.00 Aa
	4-19, 4-24	5.97±0.51 ABCbcd	3.31±0.18 ABCbc	77.21±5.11 CDbc	6 245.40±603.41 ABab	12.95±8.02 Aa
	4-14, 4-19, 4-24	5.03±1.78 ABbcd	2.67±1.39 ABabc	82.81±7.66 CDEcde	6 270.25±650.88 ABabc	13.35±8.19 Aa
2	4-19, 4-24	3.23±0.49 ABab	1.24±0.72 ABab	92.16±2.80 EFef	6 819.58±333.95 Bbc	23.54±7.15 Aab
3	4-19, 4-24	4.20±0.96 ABab	2.09±0.80 ABabc	85.96±4.81 DEFcd	6 758.85±309.70 Bbc	22.57±9.73 Aab
4	4-19, 4-24	5.60±0.98 ABCbcd	2.61±0.78 ABabc	82.16±5.76 CDEc	6 308.23±265.05 ABabc	14.38±8.50 Aa
5	4-19, 4-24	1.17±0.06 Aa	0.64±0.10 Aa	97.82±0.38 Ff	6 843.90±233.81 Bbc	23.90±1.80 Aab
6	4-19, 4-24	4.33±0.15 ABabc	2.56±0.25 ABabc	91.13±2.49 EFdef	7 187.43±707.80 Bc	30.19±13.28 Ab
CK	—	24.70±5.45 Eg	15.05±3.56 Gf	—	5 524.05±187.04 Aa	—

1: 80% 多菌灵可湿性粉剂 750 g (a.i.)/hm²; 2: 30% 多菌灵·戊唑醇悬浮剂 450 g (a.i.)/hm²; 3: 40% 多菌灵·三唑酮可湿性粉剂 600 g (a.i.)/hm²; 4: 80% 多菌灵可湿性粉剂 1 125 g (a.i.)/hm²; 5: 430 g/L 戊唑醇悬浮剂 192 g (a.i.)/hm²; 6: 50% 啞菌酯水分散粒剂 200 g (a.i.)/hm²。表中数据为平均数±标准差。同列数据后不同大、小字母分别表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.01$ 或 $P<0.05$ 水平差异显著。1: 80% carbendazim WP 750 g (a.i.)/hm²; 2: 30% carbendazim·tebuconazole SC 450 g (a.i.)/hm²; 3: 40% carbendazim·triadimefon WP 600 g (a.i.)/hm²; 4: 80% carbendazim WP 1 125 g (a.i.)/hm²; 5: 430 g/L tebuconazole SC 192 g (a.i.)/hm²; 6: 50% azoxystrobin WG 200 g (a.i.)/hm²。Data in the table are mean±SD. Different uppercase or lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P<0.01$ or $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test, respectively.

2.3 不同药剂处理对小麦籽粒中毒素含量的影响

2015 年对各试验小区所采集的小麦籽粒样品 DON、3DON、15DON 及 ZEN 含量进行测定,结果显示,空白对照区混粒和健粒样品的 DON 毒素、总毒素含量分别为 2 298.14、2 392.22 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 1 604.48、1 740.47 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。多菌灵 750 g (a.i.)/ hm^2 处理的混粒和健粒样品 DON 毒素及总毒素含量均低于空白对照,其中,在扬花初期与扬花盛末期 2 次

用药处理后混粒样品的 DON 毒素、总毒素含量分别为 1 161.96 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 1 251.65 $\mu\text{g}/\text{kg}$,比空白对照分别降低 49.44% 和 47.77%。健粒样品的 DON 毒素、总毒素含量分别为 566.67 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 601.75 $\mu\text{g}/\text{kg}$,比空白对照分别降低 64.68% 和 65.43%,且均与空白对照差异显著。其它处理的混粒和健粒样品 DON 毒素及总毒素含量也低于空白对照,但差异不显著(表 3)。

表 3 2015 年多菌灵各处理对小麦籽粒中 DON 毒素及总毒素的影响

处理 Treatment	时间 Date	混粒 Healthy and diseased grain		健粒 Healthy grain	
		DON	总毒素 Total toxins	DON	总毒素 Total toxins
80%多菌灵	4-20	1 384.41 $\pm$ 451.05 Aab	1 467.07 $\pm$ 467.85 Aab	1 193.64 $\pm$ 277.31 ABab	1 245.70 $\pm$ 293.87 ABab
可湿性粉剂	4-25	1 918.63 $\pm$ 621.87 Aab	2 024.93 $\pm$ 648.39 Aab	1 494.63 $\pm$ 538.35 Bb	1 563.62 $\pm$ 517.56 ABb
80% carben-	4-30	1 326.21 $\pm$ 627.79 Aab	1 433.07 $\pm$ 605.62 Aab	878.52 $\pm$ 66.96 ABab	949.39 $\pm$ 91.59 ABab
dazim WP	4-20, 4-25	1 524.67 $\pm$ 33.09 Aab	1 629.24 $\pm$ 86.04 Aab	1 044.72 $\pm$ 545.14 ABab	1 148.90 $\pm$ 580.44 ABab
	4-20, 4-30	1 398.07 $\pm$ 306.44 Aab	1 487.60 $\pm$ 306.90 Aab	822.84 $\pm$ 183.41 ABa	909.48 $\pm$ 146.00 ABab
	4-25, 4-30	1 161.96 $\pm$ 311.16 Aa	1 251.65 $\pm$ 307.29 Aa	566.67 $\pm$ 120.18 Aa	601.75 $\pm$ 121.98 Aa
	4-20, 4-25, 4-30	1 484.27 $\pm$ 163.87 Aab	1 569.81 $\pm$ 197.34 Aab	865.94 $\pm$ 251.18 ABa	961.60 $\pm$ 216.99 ABab
对照 CK		2 298.14 $\pm$ 1 029.10 Ab	2 392.22 $\pm$ 1 052.01 Ab	1 604.48 $\pm$ 293.52 Bb	1 740.47 $\pm$ 336.28 Bb

总毒素为 DON、3DON、15DON 及 ZEN 之和。表中数据为平均数 $\pm$ 标准差。同列数据后不同大、小字母分别表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.01$ 或 $P<0.05$ 水平差异显著。Total toxins were the sum of DON, 3DON, 15DON and ZEN. Data in the table are mean $\pm$ SD. Different uppercase or lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P<0.01$ or $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test, respectively.

2016 年对各试验小区采集的小麦籽粒样品的 DON 毒素和 ZEN 毒素含量进行测定,结果显示,空白对照区混粒样品的 DON 毒素和 DON+ZEN 毒素含量分别为 2 219.07 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 2 537.69 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。多菌灵 750 g (a.i.)/ hm^2 于小麦扬花初期用药处理的混粒样品 DON 毒素和 DON+ZEN 毒素含量分别为 2 465.62 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 2 554.84 $\mu\text{g}/\text{kg}$,略高于空白对照,但差异不显著;多菌灵其它处理的混粒样品 DON 毒素和 DON+ZEN 毒素含量分别为 1 199.38~1 575.76 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 1 297.45~1 676.33 $\mu\text{g}/\text{kg}$,比空白对照分别降低 45.95%~28.99% 和 48.87%~33.94%,且差异显著。430 g/L 戊唑醇悬浮剂 192 g (a.i.)/ hm^2 、30%多菌灵·戊唑醇悬浮剂 450 g (a.i.)/ hm^2 、40%多菌灵·三唑酮可湿性粉剂 600 g (a.i.)/ hm^2 处理的混粒样品 DON 毒素分别为 945.46、887.81、1 257.35 $\mu\text{g}/\text{kg}$, DON+ZEN 毒素含量为 1 078.25、993.46、1 291.01 $\mu\text{g}/\text{kg}$,戊唑醇单剂处理和复配剂多菌灵·戊唑醇处理的混粒样品 DON 和 DON+ZEN 毒素含量低于多菌灵各单剂及复配剂多菌灵·三唑酮处理,但差异不显著。50%啞菌酯水分散粒剂 200 g (a.i.)/ hm^2 处理的小麦样

品混粒和健粒的 DON、DON+ZEN 毒素含量分别为 3 401.07、4 138.12 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 2 232.07、2 565.43 $\mu\text{g}/\text{kg}$,与其它处理均有极显著差异(表 4)。

3 讨论

2014—2016 年连续 3 年监测了同块试验田小麦赤霉病菌对多菌灵的抗药性,抗性频率分别为 22.97%、38.55% 和 43.38%,说明试验区小麦赤霉病菌对多菌灵的抗性不高,抗性频率呈逐年上升趋势。

在 2015—2016 年田间药效试验中,多菌灵用药 2 次和 3 次处理的防效显著高于用药 1 次处理的防效,其增产效果也略高于用药 1 次处理,且多菌灵处理还有一定降低籽粒中毒素含量的效果,其中,以扬花初期与扬花盛末期 2 次用药处理的效果最好,此结果与张怡等(2017)采用多菌灵不同应用技术防治小麦赤霉病的研究结论一致。2016 年的田间试验结果还表明,戊唑醇和含戊唑醇的 2 种复配剂对小麦赤霉病具有较好的控制作用,增产效果达到 22.57% 以上;3 种药剂处理还可显著降低小麦籽粒中毒素含量,效果优于多菌灵单剂处理,此结果与沈

迎春等(2016)研究结果基本一致,所不同的是戊唑醇单剂处理在防效、增产效果及降低DON等毒素水平上有一定的差异,此差异可能是这2个试验中戊唑醇的有效用量不同所致。本研究结论与纪莉景等(2007)、蒋尚军等(2015)和沈迎春等(2016)试验结果表明,在小麦赤霉病菌对多菌灵抗性频率中等或偏低的地区,采用戊唑醇、复配剂多菌灵·戊唑醇等取代多菌灵单剂可取得较好的防病、增产及降低DON等毒素水平的效果。从减少农药用量及农药残留量、延缓病原菌抗药性产生及降低DON等毒素含量等因素考虑,多菌灵单剂已不宜单独用于小麦赤霉病的防治。

表4 2016年多菌灵及其复配剂等处理对小麦籽粒中DON毒素及DON+ZEN毒素的影响
Table 4 Effect of carbendazim and its mixtures on DON and DON+ZEN toxins in wheat grains in 2016 μg/kg

药剂 Fungicide	处理时间 Date	混粒 Healthy and diseased grains		健粒 Healthy grains	
		DON	DON+ZEN	DON	DON+ZEN
1	4-14	1 366.89±197.42 Aab	1 424.87±166.18 Aab	390.37±216.37 Aabc	451.37±271.30 Aabc
	4-19	2 465.62±46.65 Bc	2 554.84±112.50 Bc	500.62±210.01 Aabc	526.69±212.50 Aabc
	4-24	1 393.59±10.15 Aab	1 534.60±98.59 Aab	724.15±154.24 Ac	800.27±178.59 Ac
	4-14, 4-19	1 486.94±378.15 Ab	1 666.84±525.59 Aab	549.67±85.55 Aabc	633.44±76.09 Aabc
	4-14, 4-24	1 235.22±353.81 Aab	1 437.44±616.60 Aab	591.14±173.72 Aabc	662.63±238.77 Aabc
	4-19, 4-24	1 350.62±136.15 Aab	1 593.79±127.04 Aab	479.50±273.33 Aabc	569.26±209.01 Aabc
	4-14, 4-19, 4-24	1 575.76±382.71 Ab	1 676.63±327.94 Ab	671.82±358.44 Abc	715.38±364.16 Abc
2	4-19, 4-24	887.81±237.25 Aa	993.46±317.23 Aa	287.96±200.40 Aab	320.73±244.65 Aab
3	4-19, 4-24	1 257.35±498.52 Aab	1 292.01±499.03 Aab	235.10±60.47 Aa	252.91±57.35 Aa
4	4-19, 4-24	1 199.38±49.37 Aab	1 297.45±110.20 Aab	417.86±171.02 Aabc	465.55±206.50 Aabc
5	4-19, 4-24	945.46±200.43 Aa	1 078.25±332.89 Aab	367.82±81.52 Aabc	431.62±112.44 Aabc
6	4-19, 4-24	3 401.07±192.11 Cd	4 138.12±351.66 Cd	2 232.07±229.71 Bd	2 565.43±294.09 Bd
CK		2 219.07±396.05 Bc	2 537.69±401.46 Bc	579.27±144.59 Aabc	656.67±196.58 Aabc

1: 80%多菌灵可湿性粉剂750 g (a.i.)/hm²; 2: 30%多菌灵·戊唑醇悬浮剂450 g (a.i.)/hm²; 3: 40%多菌灵·三唑酮可湿性粉剂600 g (a.i.)/hm²; 4: 80%多菌灵可湿性粉剂1 125 g (a.i.)/hm²; 5: 430 g/L戊唑醇悬浮剂192 g (a.i.)/hm²; 6: 50%啞菌酯水分散粒剂200 g (a.i.)/hm²。表中数据为平均数±标准差。同列数据后不同大、小字母分别表示经Duncan氏新复极差法检验在P<0.01或P<0.05水平差异显著。1: 80% carbendazim WP 750 g (a.i.)/hm²; 2: 30% carbendazim·tebuconazole SC 450 g (a.i.)/hm²; 3: 40% carbendazim·triadimefon WP 600 g (a.i.)/hm²; 4: 80% carbendazim WP 1 125 g (a.i.)/hm²; 5: 430 g/L tebuconazole SC 192 g (a.i.)/hm²; 6: 50% azoxystrobin WG 200 g (a.i.)/hm²。Data in the table are mean±SD. Different uppercase or lowercase letters in the same column indicate significant difference at P<0.01 or P<0.05 level by Duncan's new multiple range test, respectively.

Zhang et al.(2009a,b)研究发现,室内离体条件下抗多菌灵的小麦赤霉病菌菌株的毒素产量是敏感菌株的4倍;田间条件下,接种赤霉病菌抗性菌株后小麦籽粒中毒素含量是敏感菌株的2倍,说明小麦赤霉病菌抗多菌灵菌株产生DON等毒素的量高于敏感性菌株。本研究中,小麦扬花初期喷施多菌灵处理的降低毒素效果较差,表现为小麦混粒样品中DON等毒素含量较高,产生这种现象的原因可能是在小麦赤霉病防治适期(小麦扬花初期)施药1次后,多菌灵在抑制敏感菌株的同时,给抗药性菌株提供了有利的生存空间和竞争优势,导致抗药性菌株比例增加(陈长军等,2005),从而导致DON等毒素含量也相应增加,具体原因还有待进一步研究。

通过比较2015年和2016年各处理小麦健粒的DON等毒素含量发现,2015年赤霉病发生轻,各处

理健粒DON等毒素含量相对较高;2016年赤霉病发生中等偏重,各处理健粒DON等毒素含量相对较低。导致这种现象的原因可能是在小麦赤霉病发生较轻的条件下,部分健粒虽然受到赤霉病菌的侵染但未显症,而这部分麦粒中的病原菌同样具有产生DON等毒素的能力,具体原因还需深入探究。

参 考 文 献 (References)

Bi QY, Ma ZQ, Zhang XF, Wang WQ, Han XY, Chen D. 2010. Synergism activity of carbendazim/tebuconazole complex to the resistant strains of *Fusarium graminearum*. Plant Protection, 36(2): 119-122 (in Chinese) [毕秋艳, 马志强, 张小风, 王文桥, 韩秀英, 陈丹. 2010. 多菌灵/戊唑醇复配对小麦赤霉病菌抗性菌株的活性增效作用. 植物保护, 36(2): 119-122]

Chen CJ, Qian ZH, Li J, Wang JX, Shang YQ, Zhou MG. 2005. Reproduction competition modeling of conidia between carbendazim-re-

- sistant and -sensitive isolates of *Fusarium graminearum*. Journal of Nanjing Agricultural university, 28(2): 41–45 (in Chinese) [陈长军, 钱忠海, 李俊, 王建新, 尚衍强, 周明国. 2005. 抗·感多菌灵的禾谷镰孢菌菌株间产孢竞争模型的建立. 南京农业大学学报, 28(2): 41–45]
- Chen XH, Zhao GD, Li R, Xiong ZZ, Fu YS, Guo XS, Liu WZ, Zhou CR, Wang HB, Wang LX. 2013. Test of 30% carbendazim/triadimefon WP on controlling both wheat scab and wheat powdery mildew. Anhui Agricultural Science Bulletin, 19(22): 70–71 (in Chinese) [陈香华, 赵桂东, 李茹, 熊战之, 付佑胜, 郭小山, 刘伟中, 周长勇, 王宏宝, 汪立新. 2013. 30%多·酮 WP防治小麦赤霉病和白粉病药效试验. 安徽农学通报, 19(22): 70–71]
- Du XJ, Zhang D, Ma LY. 2015. Test of 30% epoxiconazole/carbendazim WP on controlling wheat scab. Shanghai Agricultural Sciences and Technology, (3): 129 (in Chinese) [杜晓君, 章东, 马丽云. 2015. 30% 氟环·多菌灵 SC防治小麦赤霉病试验. 上海农业科技, (3): 129]
- Fan PS. 2010. Research progress on *Fusarium* head blight and DON toxins in wheat. Jiangsu Agricultural Sciences, (5): 182–184 (in Chinese) [樊平声. 2010. 小麦赤霉病和DON毒素研究进展. 江苏农业科学, (5): 182–184]
- Fan PS, Sha GD, Zhang Y, Feng WM, Lu YY. 2009. An investigation and risk assessment of deoxynivalenol in wheat-based foods from Nanjing. Journal of Mountain Agriculture and Biology, 28(5): 421–424 (in Chinese) [樊平声, 沙国栋, 张勇, 冯伟民, 卢昱宇. 2009. 南京市售小麦食品中DON毒素含量调查与风险评估. 山地农业生物学报, 28(5): 421–424]
- Ji LJ, Wang ST, Hu TL, Cao KQ. 2007. Control effect of carbendazim, tebuconazole and its mixture on the controlling of *Fusarium* head blight. Chinese Agricultural Science Bulletin, 23(3): 352–355 (in Chinese) [纪莉景, 王树桐, 胡同乐, 曹克强. 2007. 多菌灵·好力克及其复配小麦赤霉病的防治效果. 中国农学通报, 23(3): 352–355]
- Jiang SJ, Fang H, Wang HF. 2015. Control effect of tebuconazole 430 g/L SC on wheat scab and its application technology. Modern Agrochemicals, 14(4): 52–53, 56 (in Chinese) [蒋尚军, 方辉, 王会福. 2015. 430克/升戊唑醇SC防治小麦赤霉病效果及应用技术. 现代农药, 14(4): 52–53, 56]
- Li HK, Zhou MG, Wang JX, Ni YP, Diao YM. 2006. Controlling wheat scab with phenamacril and carbendazim resistance management. Agrochemicals, 45(2): 92–94, 103 (in Chinese) [李恒奎, 周明国, 王建新, 倪玉萍, 刁亚梅. 2006. 氰烯菌酯防治小麦赤霉病及治理多菌灵抗药性研究. 农药, 45(2): 92–94, 103]
- Liu F, Sun R, Zang XY. 2003. Control of wheat scab by mixture of carbendazim, thiram and sulfur. Modern Agrochemicals, 2(4): 41–42 (in Chinese) [刘峰, 孙瑞, 臧新运. 2003. 50%多·福·硫 WP防治小麦赤霉病试验. 现代农药, 2(4): 41–42]
- Liu J. 2014. Test report of 59.7% prochloraz-manganese chloride complex/carbendazim WP controlling scab. Shanghai Agricultural Science and Technology, (2): 107 (in Chinese) [刘军. 2014. 59.7%咪鲜胺锰盐·多菌灵可湿性粉剂防治小麦赤霉病试验初报. 上海农业科技, (2): 107]
- Lu MG, Zhang GS, Zhang KW. 2012. Introduction to dangers of DON toxin in feed. Chinese Livestock and Poultry Seed Industry, 8(6): 34–35 (in Chinese) [鹿明广, 张国胜, 张克文. 2012. 浅谈饲料中DON毒素的危害. 中国畜禽种业, 8(6): 34–35]
- Qian HW, Chi MY, Huang JG. 2016. Research progress on fungicide resistance of *Fusarium* head blight. Chinese Plant Protection, 36(4): 19–23 (in Chinese) [钱恒伟, 迟梦宇, 黄金光. 2016. 小麦赤霉病菌抗药性研究进展. 中国植保导刊, 36(4): 19–23]
- Shao ZR, Zhou MG, Qiu JB, Yang RM, Diao YM, Zhang S. 2011. The occurrence, resistance to carbendazim of wheat scab and its control measures in Jiangsu Province in 2010. Agrochemicals, 50(5): 385–389 (in Chinese) [邵振润, 周明国, 仇建波, 杨荣明, 刁亚梅, 张帅. 2011. 2010年小麦赤霉病发生与抗性调查研究及防控对策. 农药, 50(5): 385–389]
- Shen YC, Zhang Y, Liu FH, Chen HG, Zhu YQ. 2016. Field efficacy of tebuconazole and carbendazim with different ratios against wheat-*Fusarium* head blight. Pesticide Science and Administration, 37(9): 50–56 (in Chinese) [沈迎春, 张怡, 刘福海, 陈怀谷, 朱叶芹. 2016. 不同配比多菌灵与戊唑醇防治小麦赤霉病研究. 农药科学与管理, 37(9): 50–56]
- Shi ZQ, Shi JR, Chen HG, Lin L, Wang YZ. 2000. Study on resistance of *Fusarium graminearum* to carbendazim. Chinese Journal of Pesticide Science, 2(4): 22–27 (in Chinese) [石志琦, 史建荣, 陈怀谷, 林玲, 王裕中. 2000. 小麦赤霉病菌对多菌灵的抗药性研究. 农药学报, 2(4): 22–27]
- Wang H, Gong DH, Yang YY. 2014. Study on the efficiency of 28% enestroburin·carbendazim in controlling wheat pink mold. Journal of Agricultural Catastrophology, 4(6): 15–16, 18 (in Chinese) [王慧, 龚德洪, 杨衍银. 2014. 28%烯肟菌酯·多菌灵(佳思翠)防治小麦赤霉病的药效研究. 农业灾害研究, 4(6): 15–16, 18]
- Zhang J, Yi YJ, Wang JS, Chen SH, Li GL. 2014. Research progress of control techniques on wheat scab. Chinese Plant Protection, 34(1): 24–28 (in Chinese) [张洁, 伊艳杰, 王金水, 陈士华, 李桂玲. 2014. 小麦赤霉病的防治技术研究进展. 中国植保导刊, 34(1): 24–28]
- Zhang Y, Shen YC, Qian ZH, Xu WF. 2017. Effects on efficacy, residue and toxins of different application techniques of carbendazim against wheat head blight. Pesticide Science and Administration, 38(1): 53–58 (in Chinese) [张怡, 沈迎春, 钱忠海, 徐炜枫. 2017. 多菌灵不同应用技术对小麦赤霉病防效、残留和毒素的影响. 农药科学与管理, 38(1): 53–58]
- Zhang YJ, Fan PS, Zhang X, Chen CJ, Zhou MG. 2009a. 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. Phytopathology, 99(1): 95–100
- Zhang YJ, Yu JJ, Zhang YN, Zhang X, Cheng CJ, Wang JX, Hollomon DW, Fan PS, Zhou MG. 2009b. Effect of carbendazim resistance on trichothecene production and aggressiveness of *Fusarium graminearum*. Molecular Plant-Microbe Interactions, 22(9): 1143–1150