

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

张海艳¹, 段云辉¹, 韩敏¹, 洪爱梅¹, 孙国俊^{1,2*},
杨荣明³, 吴佳文³, 杨国华⁴

(1. 江苏省常州市金坛区植保植检站, 常州 213200; 2. 扬州大学园艺与植保学院, 扬州 225009;
3. 江苏省植物保护植物检疫站, 南京 210036; 4. 江苏省常州市金坛区薛埠镇农业综合服务站, 常州 213235)

摘要 小麦赤霉病是小麦穗期的主要病害之一。化学防控一直是小麦主产区防控赤霉病的主要措施。为明确几种新型杀菌剂对小麦赤霉病的防效和对小麦籽粒 DON 毒素含量的影响, 于 2018 年进行了氰基丙烯酸酯类和三唑类杀菌剂单剂及其复配剂对赤霉病的防效试验。结果表明: 30% 戊唑·多菌灵悬浮剂(SC) 1 500 mL/hm² 处理对赤霉病病穗防效达 92.40%, 病指防效达 93.20%, 小麦籽粒 DON 毒素检出量较不用药对照降低 80.38%; 25% 氰烯菌酯 SC 2 000 mL/hm² 处理对赤霉病的病穗防效达 86.80%, 病指防效达 88.78%, 小麦籽粒 DON 毒素检出量较不用药对照降低 88.19%; 48% 氰烯·戊唑醇 SC 900 mL/hm² 和 40% 丙硫·戊唑醇 SC 600 mL/hm² 对小麦赤霉病的病穗防效分别为 77.20%、78.00%, 病指防效分别为 80.27% 和 79.59%, 对籽粒 DON 毒素检出量较不用药对照分别降低 73.87% 和 81.42%。在小麦赤霉病较重发生的情况下, 上述 4 种杀菌剂单剂或复配剂 1 次用药既能高效控制病情, 又能有效控制小麦籽粒 DON 毒素不超标。本试验研究进一步阐明, 氰烯菌酯、戊唑醇、丙硫菌酯等杀菌剂及其复配剂均能有效控制小麦赤霉病的危害, 并能有效降低小麦籽粒 DON 毒素含量; 吡唑醚菌酯单剂及其复配剂虽然对小麦赤霉病的病穗和病指防效也较高, 但控制小麦籽粒 DON 毒素含量效果相对较差。研究结果为小麦穗期赤霉病化学防控提供了科学参考。

关键词 杀菌剂; 氰基丙烯酸酯类; 三唑类; 小麦赤霉病; 防治效果; DON 毒素

中图分类号: S 435.121.45; S 482 **文献标识码:** B **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2019527

Evaluation of several fungicides for controlling the Fusarium head blight and deoxynivalenol content in wheat grain

ZHANG Haiyan¹, DUAN Yunhui¹, HAN Min¹, HONG Aimei¹, SUN Guojun^{1,2*},
YANG Rongming³, WU Jiawen³, YANG Guohua⁴

(1. Plant Protection and Quarantine Station of Jintan District, Changzhou 213200, China; 2. College of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; 3. Plant Protection and Quarantine Station of Jiangsu, Nanjing 210036, China; 4. Agricultural Comprehensive Service Station of Xuebu Town, Jintan District, Changzhou City, Jiangsu Province, Changzhou 213235, China)

Abstract Fusarium head blight is one of the main diseases at wheat earing stage, and chemical control has been the main measure to control the wheat scab in the main wheat producing areas. To clarify the control effects of several new fungicides on Fusarium head blight and deoxynivalenol (DON) concentration in wheat grain, the experiment of single agent of cyanoacrylate and triazole fungicide and its compounded agent against Fusarium head blight were carried out in 2018. The results showed that tebuconazole·carbendazim 30% SC 1 500 mL/hm² had the best control effect on Fusarium head blight, the control efficacy on diseased ears rate was 92.40%, the control

efficacy on disease index was 93.20%, and the decrease rate of DON compared to CK was -80.38%. In the phenamacril 25% SC 2 000 mL/hm² treatment, the control efficacy on diseased ears rate was 86.80%, the control efficacy on disease index was 88.78%, and the decrease rate of DON compared to CK was -88.19%. In the other treatments, phenamacril • tebuconazole 48% SC 900 mL/hm² and prothioconazole • tebuconazole 40% SC 600 mL/hm² had a better control effect on Fusarium head blight and DON content in wheat grain, the control efficacies on diseased ears rate were 77.20% and 78.00%, the control efficacies on disease index were 80.27% and 79.59%, the decrease rates of DON compared to CK were -73.87% and -81.42%, respectively. In the case of heavier occurrence and damage of wheat scab, the four kinds of fungicides single or compounded agent above not only controlled the disease, but also controlled the DON toxin in wheat grain not exceeding the standard. This experiment further clarified that the single agent of phenamacril, tebuconazole and prothioconazole and their compounded agent could not only effectively controlled the damage of wheat scab, but also could effectively reduce the DON toxin in wheat grain. Although the single agent of pyraclostrobin and its compounded agent had higher control efficacy on the diseased ears rate and disease index, the effect of controlling the content of DON toxin in wheat grain was relatively poor. The research results provide a scientific reference for chemical control of wheat scab.

Key words fungicide; cyanoacrylate; triazole; Fusarium head blight; control effect; deoxynivalenol toxin

小麦赤霉病(Fusarium head blight)是小麦的重要病害之一,其主要致病菌种群为禾谷镰刀菌 *Fusarium graminearum*, 亚洲镰刀菌 *F. asiaticum*, 燕麦镰刀菌 *F. avenaceum*, 黄色镰刀菌 *F. culmorum* 和雪腐微座孢菌 *Microdochium nivale* 等^[1-2]。小麦赤霉病不仅造成小麦产量损失,还会产生脱氧雪腐镰刀菌烯醇(deoxynivalenol, DON)、3-乙酰基脱氧雪腐镰刀菌烯醇(3-acetyldeoxynivalenol, 3Ac-DON)和玉米赤霉烯酮(zearalenone, ZEN)等真菌毒素,这些毒素不仅会导致受害小麦籽粒发芽率降低、品质变劣,还可引起人畜中毒^[3]。小麦赤霉病及其引起的小麦籽粒中毒素含量超标问题不仅在中国存在,在亚洲的其他地区、欧洲、美洲、澳洲等的小麦种植区都有报道。小麦赤霉病尤以温暖潮湿和半潮湿地区发生普遍且严重^[4-6]。世界各国对 DON 在小麦制品中的残留均制定了限量标准,中国小麦质量标准规定,赤霉病粒最大允许量为 4%,食品中 DON 限量标准为 1 mg/kg^[7],美国、欧盟和加拿大食品中 DON 限量标准分别为 1、0.5 mg/kg 和 2 mg/kg^[8]。

种植抗耐病品种是防治小麦赤霉病最经济有效的措施,但目前大面积种植的品种中尚无对小麦赤霉病具有较强抗性的品种,化学防治仍然是控制赤霉病流行危害的重要措施之一。自 20 世纪 70 年代以来,多菌灵一直是我国小麦赤霉病防控的主流药剂,由于单一药剂的长期使用,小麦赤霉病菌对多菌灵^[9]等已产生不同程度的抗药性,防控该病害药剂

的筛选和替代已刻不容缓。本试验选取当前主要推广的一些新型杀菌剂及其复配剂,于 2018 年在大田条件下研究其对小麦赤霉病的防效和小麦籽粒 DON 毒素量的影响,以期对赤霉病的大面积化学防治提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试药剂:24%戊唑·咪鲜胺可湿性粉剂(WP),江苏江南农化有限公司;42%咪鲜·甲硫灵可湿性粉剂(WP),江苏省绿盾植保农药实验有限公司;47%多·酮可湿性粉剂(WP),江苏东宝农药化工有限公司;30%戊唑·多菌灵悬浮剂(SC),江苏龙灯化学有限公司;45%戊唑·咪鲜胺水乳剂(EW),江苏江南农化有限公司;25%氰烯菌酯悬浮剂(SC),江苏省农药研究所股份有限公司;48%氰烯·戊唑醇悬浮剂(SC),江苏省农药研究所股份有限公司;20%吡唑醚菌酯可湿性粉剂(WP),江西海阔利斯生物科技有限公司;40%丙硫·戊唑醇悬浮剂(SC),溧阳中南化工有限公司;30%唑醚·戊唑醇悬浮剂(SC),浙江省桐庐汇丰生物科技有限公司;40%吡唑醚·氟环唑悬浮剂(SC),江苏东宝农药化工有限公司;80%戊唑醇水分散粒剂(WG),江苏健神生物农化有限公司;430 g/L 戊唑醇悬浮剂(SC),德国拜耳作物科学公司;75%肟菌·戊唑醇水分散粒剂(WG),德国拜耳作物科学公司。

供试小麦品种:‘扬辐麦 4 号’。

1.2 试验设计

试验地点位于江苏省常州市金坛区指前镇建春村(31°39′41″N,119°28′23″E),海拔高度10 m,属亚热带湿润季风性气候,年均气温 15.5℃,年均湿度 78%,年降雨量 1 084.7 mm。试验田地势平坦,常年稻麦轮作,秸秆均常年全量还田。2017 年 11 月 4 日播种,播种量 190 kg/hm²,小麦生长期常规田间管理。

试验共设 17 个处理(均为制剂用量),分别为:24%戊唑·咪鲜胺 WP 750 g/hm²、42%咪鲜·甲硫灵 WP 1 200 g/hm²、47%多·酮 WP 1 275 g/hm²、30%戊唑·多菌灵 SC 1 500 mL/hm²、45%戊唑·咪鲜胺 EW 450 mL/hm²、25%氰烯菌酯 SC 2 000 mL/hm²、48%氰烯·戊唑醇 SC 900 mL/hm²、20%吡唑醚菌酯 WP 187.5 g/hm²、40%丙硫·戊唑醇 SC 600 mL/hm²、30%唑醚·戊唑醇 SC 300、375、600 mL/hm²、40%吡唑醚·氟环唑 SC 375 mL/hm²、80%戊唑醇 WG 225 g/hm²、430 g/L 戊唑醇 SC 420 mL/hm²、75%肟菌·戊唑醇 WG 300 g/hm²、喷施清水的空白对照(CK)。每个处理重复 3 次,随机区组排列,每个小区面积 40 m²,四周设 1.0 m 宽保护行。

于 2018 年 4 月 13 日(天气阴,温度 13.4~18.2℃)小麦扬花初期(扬花约 10%)施药,用水量 450 L/hm²,所有的试验处理均仅用药 1 次。为促进赤霉病的发生,本试验于小麦扬花盛期,选择一个高温晴好天气(4 月 19 日,温度 14.3~28.4℃)的中午 13:00 田间温度最高时,用高地隙自走式喷杆喷雾机喷洒温热清水,喷水量 1 500 kg/hm²,以增大田间湿度。

1.3 调查方法

待小麦赤霉病危害程度稳定后(5 月 13 日),每个小区对角线五点取样,每点调查 200 穗,共调查 1 000 穗,记录各处理小区小麦赤霉病病穗数和病穗严重度,计算小麦赤霉病病穗率、病情指数和防治效果。小麦赤霉病分级标准参照国家标准《小麦赤霉病测报技术规范》(GB/T 15796—2011)。即 0 级:无病;1 级:病小穗数占全部小穗数的 1/4 以下;2 级:病小穗数占全部小穗数的 1/4~1/2;3 级:病

小穗数占全部小穗数的 1/2 以上~3/4;4 级:病小穗数占全部小穗数的 3/4 以上。

小麦赤霉病防治效果计算依据农业行业标准《农药田间药效试验准则:杀菌剂防治小麦赤霉病》(NY/T 1464.14—2007)进行。

病穗率=发病穗数/调查总穗数×100%;

病穗率防效=(对照区病穗率-处理区病穗率)/对照区病穗率×100%;

病情指数=∑(各级别病穗数×相应级值)/(调查总穗数×最高级值)×100%;

病指防效=(对照区病情指数-处理区病情指数)/对照区病情指数×100%。

DON 毒素含量测定:将各小区晾干的小麦籽粒充分混匀后,称重 1 kg 小麦籽粒,用干燥的牛皮纸信封包装后,送至江苏省农业科学院农产品质量安全与营养研究所测定 DON 毒素含量。毒素检测依据中华人民共和国出入境检验检疫行业标准:《出口食品中脱氧雪腐镰刀菌烯醇、3-乙酰脱氧雪腐镰刀菌烯醇、15-乙酰脱氧雪腐镰刀菌烯醇及其代谢物的测定液相色谱-质谱/质谱法》(SN/T 3137-2012)进行检测。

1.4 数据分析

运用 WPS Office 10.1 和 SPSS 20.0 版数据处理系统对试验数据进行统计、分析。

2 结果与分析

2.1 杀菌剂对小麦赤霉病穗腐的防效

施药后持续跟踪观察,各小区小麦生长正常,无药害产生。不用药对照(CK)处理平均病穗率和病情指数分别为 41.67%和 12.25(表 1),明显高于各药剂处理,可见未经防治时小麦赤霉病的发生危害较重。各药剂处理对小麦赤霉病均表现出不同的防治效果,其中 30%戊唑·多菌灵 SC 1 500 mL/hm² 处理防效最高,病穗率防效和病指防效均在 90%以上,分别为 92.40%和 93.20%;其次为 25%氰烯菌酯 SC 2 000 mL/hm² 处理,病穗率防效和病指防效分别为 86.80%和 88.78%;40%丙硫·戊唑醇 SC 600 mL/hm²、48%氰烯·戊唑醇 SC 900 mL/hm²、45%戊唑·咪鲜胺 EW 450 mL/hm²、30%唑醚·戊唑醇 SC 600 mL/hm² 和 24%戊唑·咪鲜胺 WP

750 g/hm² 处理的病穗率防效和病指防效均在 70.00%~80.00% 之间;20% 吡唑醚菌酯 WP 187.5 g/hm²、42% 咪鲜·甲硫灵 WP 1 200 g/hm² 和 30% 唑醚·戊唑醇 SC 375 mL/hm² 这 3 种处理的病穗率防效分别为 68.80%、68.80%、66.40%, 病指防效分别为 72.11%、71.77%、71.09%;80%

戊唑醇 WG 225 g/hm²、40% 吡唑醚·氟环唑 SC 375 mL/hm² 和 75% 肟菌·戊唑醇 WG 300 g/hm² 病穗率防效在 57.60%~61.2%, 病指防效在 61.22%~64.97%;30% 唑醚·戊唑醇 SC 300 mL/hm² 和 47% 多·酮 WP 1 275 g/hm² 处理的病穗率防效和病指防效均低于 60%。

表 1 不同杀菌剂对小麦赤霉病的防效¹⁾
Table 1 Control effect of different fungicides against wheat scab

供试药剂 Fungicide	剂量 Dose	病穗率/% Rate of diseased ears	病穗率防效/% Control efficacy on diseased ears rate	病情指数 Disease index	病指防效/% Control efficacy on disease index
30% 戊唑·多菌灵 SC tebuconazole·carbendazim 30% SC	1 500 mL/hm ²	3.17 g	92.40	0.84 e	93.20
25% 氰烯菌酯 SC phenamacril 25% SC	2 000 mL/hm ²	5.50 fg	86.80	1.38 de	88.78
40% 丙硫·戊唑醇 SC prothioconazole·tebuconazole 40% SC	600 mL/hm ²	9.17 efg	78.00	2.50 cde	79.59
48% 氰烯·戊唑醇 SC phenamacril·tebuconazole 48% SC	900 mL/hm ²	9.50 defg	77.20	2.42 cde	80.27
45% 戊唑·咪鲜胺 EW tebuconazole·prochloraz 45% EW	450 mL/hm ²	9.50 defg	77.20	2.46 cde	79.93
30% 唑醚·戊唑醇 SC pyraclostrobin·tebuconazole 30% SC	600 mL/hm ²	11.33 cdef	72.80	2.96 bcde	75.85
24% 戊唑·咪鲜胺 WP tebuconazole·prochloraz 24% WP	750 g/hm ²	11.50 cdef	72.40	2.96 bcde	75.85
20% 吡唑醚菌酯 WP pyraclostrobin 20% WP	187.5 g/hm ²	13.00 bcdef	68.80	3.42 bcd	72.11
42% 咪鲜·甲硫灵 WP prochloraz·thiophanate-methyl 42% WP	1 200 g/hm ²	13.00 bcdef	68.80	3.46 bcd	71.77
30% 唑醚·戊唑醇 SC pyraclostrobin·tebuconazole 30% SC	375 mL/hm ²	14.00 bcde	66.40	3.54 bcd	71.09
80% 戊唑醇 WG tebuconazole 80% WG	225 g/hm ²	16.17 bcde	61.20	4.30 bc	64.97
40% 吡唑醚·氟环唑 SC pyraclostrobin·epoxiconazole 40% SC	375 mL/hm ²	16.67 bcde	60.00	4.30 bc	64.97
430 g/L 戊唑醇 SC tebuconazole 430 g/L SC	420 mL/hm ²	17.50 bcde	58.00	4.54 bc	62.93
75% 肟菌·戊唑醇 WG trifloxystrobin·tebuconazole 75% WG	300 g/hm ²	17.67 bcd	57.60	4.75 bc	61.22
30% 唑醚·戊唑醇 SC pyraclostrobin·tebuconazole 30% SC	300 mL/hm ²	19.33 bc	53.60	5.09 b	58.50
47% 多·酮 WP carbendazim·triadimefon 47% WP	1 275 g/hm ²	20.00 b	52.00	5.38 b	56.12
空白对照 CK	—	41.67 a	—	12.25 a	—

1) 病穗率和病情指数列中不同小写字母表示不同处理间有显著性差异($P<0.05$)。下同。
The values following different lowercase letters in the same column are significantly different at 0.05 level. The same applies below.

2.2 杀菌剂对小麦籽粒 DON 毒素含量的影响

不用药对照处理小麦籽粒 DON 毒素检出量为 3 020.39 μg/kg(表 2),是中国食品 DON 限量标准的 3.02 倍。各药剂处理中,25% 氰烯菌酯 SC 2 000 mL/hm² 处理对小麦籽粒 DON 毒素的控制作用最好,较对照 DON 毒素检出量降低 88.19%, 其次为 40% 丙硫·戊唑醇 SC 600 mL/hm² 和 30% 戊唑·多菌灵 SC 1 500 mL/hm²,2 种处理小麦籽粒 DON 毒素检出量较对照降低 80% 以上, 48% 氰烯·戊唑醇 SC 900 mL/hm² 处理小麦籽粒 DON 毒素检出量较对照降低 73.87%。上述药剂处理小麦籽粒 DON 毒素检出量均低于中国食品

DON 限量标准,其他药剂处理小麦籽粒 DON 毒素检出量均已超出中国食品 DON 限量标准。47% 多·酮 WP 1 275 g/hm² 和 30% 唑醚·戊唑醇 SC 300 mL/hm² 处理虽也降低了小麦籽粒 DON 毒素的含量,但与对照小麦籽粒 DON 毒素检出量无显著差异。值得关注的是吡唑醚菌酯单剂及其与戊唑醇复配的 30% 唑醚·戊唑醇 SC 600 mL/hm²、20% 吡唑醚菌酯 WP 187.5 g/hm² 和 30% 唑醚·戊唑醇 SC 375 mL/hm² 这 3 种处理病穗率防效(66% 以上)和病指防效(71% 以上)虽均表现良好,但对小麦籽粒 DON 毒素含量的控制效果较低(46% 以下)。

表 2 不同杀菌剂对小麦籽粒 DON 毒素含量的影响
Table 2 Effect of different fungicides on DON toxin content

供试药剂 Fungicide	剂量 Dose	DON 毒素检出量/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ Detected amount of DON toxin	较对照 DON 毒素减少率/% Decrease rate of DON compared to CK
25%氰烯菌酯 SC phenamacril 25% SC	2 000 mL/hm ²	356.83 g	88.19
40%丙硫·戊唑醇 SC prothioconazole·tebuconazole 40% SC	600 mL/hm ²	561.25 fg	81.42
30%戊唑·多菌灵 SC tebuconazole·carbendazim 30% SC	1 500 mL/hm ²	592.66 fg	80.38
48%氰烯·戊唑醇 SC phenamacril·tebuconazole 48% SC	900 mL/hm ²	789.20 efg	73.87
45%戊唑·咪鲜胺 EW tebuconazole·prochloraz 45% EW	450 mL/hm ²	1 122.52 defg	62.84
80%戊唑醇 WG tebuconazole 80% WG	225 g/hm ²	1 129.99 defg	62.59
75%肟菌·戊唑醇 WG trifloxystrobin·tebuconazole 75% WG	300 g/hm ²	1 180.12 def	60.93
430 g/L 戊唑醇 SC tebuconazole 430 g/L SC	420 mL/hm ²	1 399.13 cde	53.68
24%戊唑·咪鲜胺 WP tebuconazole·prochloraz 24% WP	750 g/hm ²	1 421.57 cde	52.93
20%吡唑醚菌酯 WP pyraclostrobin 20% WP	187.5 g/hm ²	1 635.42 cd	45.85
42%咪鲜·甲硫灵 WP prochloraz·thiophanate-methyl 42% WP	1 200 g/hm ²	1 703.59 cd	43.60
30%唑醚·戊唑醇 SC pyraclostrobin·tebuconazole 30% SC	375 mL/hm ²	1 813.11 cd	39.97
40%唑醚·氟环唑 SC pyraclostrobin·epoxiconazole 40% SC	375 mL/hm ²	2 161.43 bc	28.44
30%唑醚·戊唑醇 SC pyraclostrobin·tebuconazole 30% SC	600 mL/hm ²	2 161.83 bc	28.43
30%唑醚·戊唑醇 SC pyraclostrobin·tebuconazole 30% SC	300 mL/hm ²	2 652.59 ab	12.18
47%多·酮 WP carbendazim·triadimefon 47% WP	1 275 g/hm ²	2 792.54 ab	7.54
空白对照 CK	—	3 020.39 a	—

3 讨论

近些年, 秸秆还田技术的大力推广导致小麦赤霉病菌田间积累, 气候变暖则有利于子囊壳的产生和子囊孢子的释放^[10]。长江中下游、江淮稻麦轮作区部分农民为保证水稻生产常推迟小麦播种期, 导致小麦生育期不整齐。2015 年江苏省扬州市调查发现, 大面积小麦抽穗扬花期相差 10 d 以上, 部分田块同一品种小麦生育进程相差 3~5 d, 导致小麦易感病生育期拉长, 增加了抽穗扬花期遭遇高温、高湿天气的几率^[11]。部分农民长期施用单一杀菌剂, 造成赤霉病菌处于长期选择压力下, 导致小麦赤霉病菌抗药性的产生、田间防效下降。王建新等, 姚克兵等的研究表明, 苏南地区部分小麦赤霉病抗药性已经由 2001 年的 1% 左右上升至 2016 年的 60% 左右^[12-13]。各种因素导致近几年小麦赤霉病在苏南地区呈间歇性暴发的态势, 发生频率和危害的严重程度较以前都有明显增强, 随之而来的 DON 毒素对食品安全的威胁也越来越严重, 因此急需选择既能控制小麦赤霉病发生又能控制小麦籽粒中 DON 毒素含量的化学药剂。

氰烯菌酯为氰基丙烯酸酯类杀菌剂, 对小麦赤霉病致病菌具有较高的专化活性。其作用机理是抑制肌球蛋白-5, 破坏细胞骨架和马达蛋白, 干扰细胞营养物质运输, 抑制菌丝生长^[14]。本试验结果表

明, 25% 氰烯菌酯 SC 2 000 mL/hm² 和 48% 氰烯·戊唑醇 SC 900 mL/hm² 处理对小麦赤霉病的防效较好, 此研究结果与王恒亮等^[15]、孙光忠等^[16]防治小麦赤霉病药剂筛选结果一致, 同时, 这 2 个处理对小麦籽粒中 DON 毒素的控制作用也很明显, 特别是 25% 氰烯菌酯 SC 2 000 mL/hm² 处理, 小麦籽粒 DON 毒素检出量最低。同时, 氰烯菌酯与多菌灵之间无交互抗性^[17], 因此, 该药剂对于治理多菌灵抗药性问题具有重要意义。

三唑类杀菌剂能够抑制真菌麦角甾醇的生物合成, 对小麦赤霉病及其镰刀菌毒素有良好的防控效果。已有研究表明, 三唑类杀菌剂戊唑醇、丙硫菌唑和叶唑醚能显著降低病原菌侵染及合成 DON 毒素的能力^[18-20]。在本试验剂量条件下, 各处理对小麦赤霉病的防控效果可以看出, 病指防效大于 75% 的 7 个药剂处理中, 除了 25% 氰烯菌酯 SC 2 000 mL/hm² 处理以外, 其余各处理均为戊唑醇复配剂; 在对小麦籽粒 DON 毒素的控制作用方面, 药剂处理较对照小麦籽粒 DON 毒素降低率在 50% 以上的 9 个处理中, 除了 25% 氰烯菌酯 SC 2 000 mL/hm² 处理以外, 其余各处理均为戊唑醇单剂或其复配剂, 说明戊唑醇在防控小麦赤霉病和控制小麦籽粒 DON 毒素方面均有较好的效果, 与前人研究结果一致。

吡唑醚菌酯是在醚菌酯基础上改进后开发的高效线粒体呼吸抑制剂, 与啞菌酯同属甲氧基丙烯酸

酯类广谱杀菌剂。到目前为止,关于吡唑醚菌酯对小麦赤霉病防治及其对小麦籽粒 DON 毒素的控制作用研究不多,Magan 等^[21]和 Siranidou 等^[22]研究表明,嘧菌酯对小麦赤霉病虽然有一定的防治效果,降低了病穗的发病率,但其处理过的作物中 DON 毒素浓度较高,可能与嘧菌酯的使用导致 DON 毒素累积有关。本研究表明,吡唑醚菌酯单剂及其复配剂中仅 30% 唑醚·戊唑醇 SC 600 mL/hm² 处理对小麦赤霉病防效超过 75%,其他含吡唑醚菌酯的处理病指防效均低于 75%;在对小麦籽粒 DON 毒素控制方面,较不用药对照处理小麦籽粒 DON 毒素减幅最低的 7 个处理中,有 5 个处理含吡唑醚菌酯,且有 3 个处理较对照处理降低率低于 30%,表明吡唑醚菌酯单剂及其复配剂对小麦籽粒 DON 毒素量的控制效果较差。

由于小麦赤霉病在长江中下游的小麦主产区连年重发,植保技术推广部门一般会推荐穗期 2 次用药的防控策略,因此防治成本高,环境污染大。本试验结果表明,25% 氰烯菌酯 SC、40% 丙硫·戊唑醇 SC、30% 戊唑·多菌灵 SC 和 48% 氰烯·戊唑醇 SC 这 4 种药剂,在赤霉病发生危害较重的情况下,通过一次用药防治,依然可以将小麦赤霉病的病穗率防效和病指防效控制在 75% 以上,籽粒 DON 毒素检出量控制在中国食品 DON 限量标准(1 000 μg/kg)以内,为小麦赤霉病的减药控害提供了参考依据。

综上所述,氰烯菌酯、戊唑醇等均能有效控制小麦赤霉病的危害,并能有效降低小麦籽粒 DON 毒素含量,多菌灵作为防治小麦赤霉病的传统药剂已不能有效控制小麦赤霉病危害及小麦籽粒 DON 毒素。吡唑醚菌酯对小麦赤霉病的防效以及对 DON 毒素的控制效果,与 Magan 等^[21]和 Siranidou 等^[22]的研究结果相似,其对小麦籽粒 DON 毒素的控制效果明显低于氰烯菌酯、戊唑醇等药剂处理,建议在小麦赤霉病防治中慎用吡唑醚菌酯单剂及其复配剂。

参考文献

[1] O'DONNELL K, WARD T J, GEISER D W, 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.

[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] 谢茂昌,王明祖. 小麦赤霉病发病程度与 DON 含量的关系[J]. 植物病理学报, 1999, 29(1): 41 - 44.

[4] DIAZ-PENDON J A, CANIZARES M C, MORIONES E, et al. Tomato yellow leaf curl viruses: ménage à trios between the virus complex, the plant and the whitefly vector [J]. Molecular Plant Pathology, 2010, 11(4): 441 - 450.

[5] MC MULLEN M, JONES R, CALLENBERG D. Scab of wheat and barley: a re-emerging disease of devastating impact [J]. Plant Disease, 1997, 81(12): 1340 - 1348.

[6] MAFFI D, COZZI F, VIOLINI G, et al. Ultrastructural studies of the effects of tetraconazole on the barley-powdery mildew host pathogen complex [J]. Mycological Research, 1995, 99(7): 799 - 805.

[7] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. GB2761-2011 食品中真菌毒素限量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.

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

[9] 邵振润,周明国,仇剑波,等. 2010 年小麦赤霉病发生与抗性调查研究及防控对策[J]. 农药, 2011, 50(5): 385 - 389.

[10] 袁淑杰,梁平,梁秀慧. 河北省冬小麦赤霉病春季发生期气象条件分析[C]//第 26 届中国气象学会年会农业气象防灾减灾与粮食安全分会场论文集, 2009: 246 - 250.

[11] 吴佳文,杨荣明,朱凤,等. 2015 年江苏省小麦赤霉病发生特点与防控对策探讨[J]. 中国植保导刊, 2016, 36(10): 31 - 34.

[12] 王建新,周明国,陆悦健,等. 小麦赤霉病菌抗药性群体动态及治理药剂[J]. 南京农业大学学报, 2002, 25(1): 43 - 47.

[13] 姚克兵,庄义庆,尹升,等. 江苏小麦赤霉病综合防控关键技术研究[J]. 植物保护, 2018, 44(1): 205 - 209.

[14] 张承启. 新型杀菌剂氰烯菌酯对禾谷镰刀菌的作用机制研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.

[15] 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.

[16] 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.

[17] 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.

[18] EDWARDS S G, PIRGOZLIEV S R, HARE M C, et al. Quantification of trichothecene-producing *Fusarium* species in harvested grain by competitive PCR to determine efficacies of fungicides against Fusarium head blight of winter wheat [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2001, 67(4): 1575 - 1580.

[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.

- de) (Thysanoptera: Thripidae) and implications for its management in Australia [J]. Australian Journal of Entomology, 2008, 47(1): 64–69.
- [16] 侯海霞, 于毅, 周仙红, 等. 山东省棕榈蓟马田间种群对 7 种杀虫剂的抗药性[J]. 植物保护, 2015, 41(5): 151–154.
- [17] 唐良德, 赵海燕, 付步礼, 等. 海南普通大蓟马抗药性监测及对 6 种杀虫剂的敏感性[J]. 环境昆虫学报, 2018, 40(5): 1175–1181.
- [18] BUITENHUIS R, SHIPP J L, JANDRICIC S, et al. Effectiveness of insecticide-treated and non-treated trap plants for the management of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) in greenhouse ornamentals [J]. Pest Management Science, 2007, 63(9): 910–917.
- [19] ZHANG Xiaoming, LÖVEI G L, FERRANTE M, et al. The potential of trap and barrier cropping to decrease densities of the whitefly *Bemisia tabaci* MED on cotton in China [J]. Pest Management Science, 2020, 76(1): 366–374.
- [20] 邢楚明, 韩冬银, 李磊, 等. 蓟马在芒果园田间的时空动态[J]. 环境昆虫学报, 2017, 39(6): 1258–1265.
- [21] 张宏瑞, OKAJIMA S, MOUND L A. 蓟马采集和玻片标本的制作[J]. 昆虫知识, 2006, 43(5): 725–728.
- [22] 韩运发. 中国经济昆虫志. 第五十五册, 缨翅目[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 226–471.
- [23] 梁贵红, 张宏瑞, 李自命, 等. 斗南花卉蓟马种类及发生研究[J]. 西南农业学报, 2007, 20(6): 1291–1295.
- [24] 陈俊谕, 牛黎明, 李磊, 等. 不同颜色粘虫板对花蓟马的田间诱集效果[J]. 环境昆虫学报, 2017, 39(5): 1169–1176.
- [25] 张晓明, 姚茹瑜, 张宏瑞, 等. 不同花色菊花品种上西花蓟马种群密度及雌雄比[J]. 植物保护学报, 2017, 44(5): 737–745.
- [26] 张晓明, 柳青, 李宜儒, 等. 六种常见杀虫剂对西花蓟马和花蓟马的毒力测定[J]. 环境昆虫学报, 2018, 40(1): 215–223.
- [27] 刘薇薇, 雷志强, 董丹, 等. 南方地区葡萄避雨栽培病虫害防控技术[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2014(3): 39–46.
- [28] 何平, 李悦娜, 黄曦, 等. 曲靖市葡萄病虫害发生规律调查及综合防治[J]. 云南农业科技, 2018(S1): 82–84.
- [29] KAKEI Y, TSUCHIDA K. Influences of relative humidity on mortality during the pupal stage of *Thrips palmi* (Thysanoptera: Thripidae) [J]. Applied Entomology and Zoology, 2000, 35(1): 63–67.
- [30] 贝亚维, 陈华平, 顾秀慧, 等. 棕榈蓟马在茄子不同叶位的种群数量分布及其动态研究[J]. 浙江农业学报, 1999(1): 24–26.
- [31] 裴昌莹, 张艳萍, 郑长英. 西花蓟马成虫在日光温室内的分布和日活动规律[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(2): 384–387.
- [32] 韩云, 唐良德, 吴建辉. 蓟马类害虫综合治理研究进展[J]. 中国农学通报, 2015, 31(22): 163–174.
- [33] BLUMTHAL M R, CLOYD R A, SPOMER L A, et al. Flower color preferences of western flower thrips [J]. Hort Technology, 2005, 15: 846–853.
- [34] TEULON D A J, PENMAN D R, RAMAKERS P M J. Volatile chemicals for thrips (Thysanoptera: Thripidae) host finding and applications for thrips pest management [J]. Journal of Economic Entomology, 1993, 86(5): 1405–1415.
- [35] 梁兴慧. 两种蓟马的日活动规律及其对植物挥发物的趋性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.
- [36] 周育, 庾琴, 侯慧锋, 等. 新型烟碱类杀虫剂啉虫脒研究进展[J]. 植物保护, 2006, 32(3): 16–20.
- [37] 谭丽超, 程燕, 卜元卿, 等. 新烟碱类农药在我国的登记现状及对蜜蜂的初级风险评估[J]. 生态毒理学报, 2019, 14(6): 292–303.
- [38] 徐汉虹, 梁明龙, 胡林. 阿维菌素类药物的研究进展[J]. 华南农业大学学报, 2005, 26(1): 1–6.
- [39] 张鹏, 慕卫, 刘峰, 等. 噻虫嗪在土壤中的吸附和淋溶特性[J]. 环境化学, 2015, 34(4): 705–711.
- [40] 张安盛, 庄乾营, 周仙红, 等. 日光温室防治棕榈蓟马药剂筛选[J]. 植物保护, 2013, 39(6): 180–183.
- [41] 王泽华, 孙艳艳, 魏书军, 等. 几种杀虫剂对棕榈蓟马的室内毒力与田间防效[J]. 植物保护, 2015, 41(5): 221–224.
- [42] 王泽华, 侯文杰, 郝晨彦, 等. 北京地区西花蓟马田间种群的抗药性监测[J]. 应用昆虫学报, 2011, 48(3): 542–547.
- [43] 曹宇, 李灿, 马恒, 等. 五种杀虫剂对西花蓟马的室内毒力测定[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(16): 3939–3941.
- [44] 王彭, 刘叙杆, 黄正谊. 5 种药剂对不同地区蓟马田间优势种群的敏感度测定[J]. 农药, 2016, 55(7): 527–529.
- [45] WANG Zehua, GONG Yajun, JIN Guihua, et al. Field-evolved resistance to insecticides in the invasive western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) in China [J]. Pest Management Science, 2016, 72(7): 1440–1444.
- [46] 单彩慧, 王鸣华, 范加勤, 等. 西花蓟马防治药剂的室内筛选[J]. 农药, 2010, 49(10): 768–770.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 264 页)

- [20] 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.
- [21] MAGAN N, HOPE R, COLLEATE A B, et al. Relationship between growth and mycotoxin production by *Fusarium* species, biocides and environment [J]. European Journal of Plant Pathology, 2002, 108: 685–690.
- [22] SIRANIDOU E, BUCHENAUER H. Chemical control of *Fusarium* head blight on wheat [J]. Journal of Plant Diseases and Protection, 2001, 108: 231–243.

(责任编辑: 杨明丽)