不同杀菌剂对小麦赤霉病和叶锈病的防治效果

孙海燕[1]， 原 征[1,2]， 疏 燕[1]， 张 兴[1]， 张爱香[1]， 陈怀谷[1*]

（1. 江苏省农业科学院植物保护研究所，南京 210014；2. 南京农业大学植物保护学院，南京 210095）

摘要 为明确不同杀菌剂防治小麦赤霉病和叶锈病的效果，在大田条件下进行了不同杀菌剂对这两种病害的防治试验。对小麦赤霉病的防效结果表明：25%氰烯菌酯 SC、20%叶菌唑 SC、48%氰烯·戊唑醇 SC 和 200 g/L 氟唑菌酰羟胺 SC 的防效较好，防效为 83.54%～88.92%；其次为 400 g/L 戊唑·咪鲜胺 EW 和 430 g/L 戊唑醇 SC，防效为 71.87%和 73.31%；50%多菌灵 WP 的防效仅为 58.05%。对小麦叶锈病的防效调查结果表明：30%丙硫菌唑 SC、40%丙硫·戊唑醇 SC 和 430 g/L戊唑醇 SC 的防效较好，防效为 84.78%～88.33%；其次 275 g/L 氟唑菌酰羟胺·丙环唑 SE、48%氰烯·戊唑醇 SC、40%叶菌·戊唑醇 SC 和 400 g/L 戊唑·咪鲜胺 EW，防效范围为 79.66%～81.56%；200 g/L 氟唑菌酰羟胺 SC 和 50%多菌灵 WP 的防效为 69.36%和 39.33%。从防治效果、两种病害兼防以及延缓抗药性等方面综合考虑，氰烯·戊唑醇、氟唑菌酰羟胺·丙环唑、丙硫·戊唑醇、叶菌·戊唑醇等交替使用是防治小麦赤霉病和叶锈病比较好的策略。

关键词 小麦； 小麦赤霉病； 小麦叶锈病； 杀菌剂； 防治效果

中图分类号： S 435.12 **文献标识码：** B **DOI：** 10.16688/j.zwbh.2019547

Control efficacy of different fungicides against Fusarium head blight and leaf rust in wheat

SUN Haiyan[1]， YUAN Zheng[1,2]， SHU Yan[1]， ZHANG Xing[1]， ZHANG Aixiang[1]， CHEN Huaigu[1*]

（1. *Institute of Plant Protection*, *Jiangsu Academy of Agricultural Sciences*, *Nanjing* 210014, *China*; 2. *College of Plant Protection*, *Nanjing Agricultural University*, *Nanjing* 210095, *China*）

Abstract Field trials have been carried out to determine the control efficacy of different fungicides against Fusarium head blight and leaf rust in wheat. Phenamacril 25% SC, metconazole 20% SC, phenamacril · tebuconazole 48% SC and pydiflumetofen 200 g/L SC had the best control effect on Fusarium head blight, with the efficacy from 83.54% to 88.92%, then followed by tebuconazole · prochloraz 400 g/L EW and tebuconazole 430 g/L SC, with the efficacy of 71.87% and 73.31%, respectively. Carbendazim 50% WP was the weakest, with the efficacy of 58.05%. prothioconazole 30% SC, prothioconazole · tebuconazole 40% SC and tebuconazole 430 g/L SC had the best control effect on leaf rust, with the efficacy from 84.78% to 88.33%, then followed by pydiflumetofen · propiconazole 275 g/L SE, phenamacril · tebuconazole 48% SC, metconazole · tebuconazole 40% SC and tebuconazole · prochloraz 400 g/L EW, with the efficacy from 79.66% to 81.56%. Pydiflumetofen 200 g/L SC was weaker, with the efficacy of 69.36%, and carbendazim 50% WP was the weakest with the efficacy of only 39.33%. Taken into account the control efficacy and fungicide resistance, alternative application of phenamacril · tebuconazole, pydiflumetofen · propiconazole, metconazole · tebuconazole and prothioconazole · tebuconazole are considered to be good solutions for Fusarium head blight and leaf rust control in wheat.

Key words wheat; Fusarium head blight; leaf rust; fungicide; efficacy

小麦赤霉病（wheat head blight）是我国小麦生产上最具威胁的流行性病害之一。该病害的流行不仅可造成小麦大幅度减产，还可导致脱氧雪腐镰孢菌烯醇（DON）等多种毒素污染谷物，严重威胁人和动物的健康。我国小麦赤霉病以往主要发生于长江中下游冬麦区以及东北春麦区。近年来，由于气候变暖和秸秆还田等的影响，小麦赤霉病迅速向黄淮麦区蔓延[1-3]。小麦叶锈病（wheat leaf rust）也是小麦生产上的重要病害之一，在世界各麦区均有发生且危害严重。由于各麦区栽培品种、发病早晚不同，

收稿日期： 2019－10－14 **修订日期：** 2020－01－08
基金项目： 国家现代农业产业技术体系建设专项（CARS-3-1）；江苏省农业自主创新项目［CX(19)3004］
* 通信作者 E-mail：huaigu@jaas.ac.cn

该病害造成的产量损失也不同，一般在 7%～30%，严重时达 50%以上。在我国，小麦叶锈病发生面积约 15 万公顷，主要发生在西南、西北地区、长江中下游地区、黄淮海流域的南部地区[4-5]。

种植抗性品种是防治小麦病害既经济又安全的有效方法，但目前尚无对赤霉病、叶锈病高抗的小麦品种，种植的中低抗性品种受气候因素、耕作制度改变等多重因素的影响，不能完全抵御病害的流行和危害[1,5]。化学防治仍然是目前控制这两种病害最有效的方法。我国自 70 年代开始使用多菌灵防治小麦赤霉病，由于长期连续使用，抗药性问题越来越严重。江苏省病菌群体中多菌灵抗性频率由 2008 年的 4.8%上升到 2016 年的 40.3%，局部地区已经达到 90%，极大地影响了其防治效果[1]，已不能用于小麦赤霉病的防治。取而代之的是麦角甾醇合成抑制剂类(DMIs)和氰烯菌酯。在欧美等国家 DMIs(戊唑醇、叶菌唑、丙硫菌唑等)广泛用于小麦病害的防治[6-8]。在我国，戊唑醇被用于小麦病害防治已有多年，还未出现防治失效的报道。丙硫菌唑、叶菌唑还处于刚刚登记与示范推广阶段，对其单剂及其复配剂防效的研究还很少。氟唑菌酰羟胺是一种琥珀酸脱氢霉抑制剂类杀菌剂(SDHIs)，目前还处于登记与示范阶段，对其防效的研究还甚少。在小麦叶锈病的化学防治上，三唑酮仍然是目前使用最为广泛的杀菌剂，目前已有条锈病对其产生抗药性的报道[9]。本研究选择已登记或即将登记在小麦赤霉病防治上的不同杀菌剂，拟开展这些杀菌剂对小麦赤霉病和叶锈病的防治效果研究，以期筛选出高效且兼顾两种病害防治的药剂。

1 材料与方法

1.1 供试杀菌剂

200 g/L 氟唑菌酰羟胺悬浮剂(SC)、275 g/L 氟唑菌酰羟胺·丙环唑悬乳剂(SE)，先正达(中国)投资有限公司；48%氰烯·戊唑醇悬浮剂(SC)、25%氰烯菌酯悬浮剂(SC)，江苏省农药研究所股份有限公司；30%丙硫菌唑悬浮剂(SC)，安徽久易农业股份有限公司；430 g/L 戊唑醇悬浮剂(SC)，拜耳作物科学(中国)有限公司；50%多菌灵可湿性粉剂(WP)，四川国光农化股份有限公司；400 g/L 戊唑·咪鲜胺水乳剂(EW)，安道麦马克西姆有限公司；40%叶菌·戊唑醇悬浮剂(SC)，高邮市丰田农药有限公司；42%多菌·戊唑醇悬浮剂(SC)和 20%叶菌唑悬浮剂(SC)，苏科农化有限责任公司；40%丙硫·戊唑醇悬浮剂(SC)，江苏省中南溧阳化工有限公司。

1.2 不同杀菌剂对小麦赤霉病和叶锈病防治

2018 年试验在泰州市现代农业中心的试验田进行。供试小麦品种为‘扬麦 15’。该试验是大区试验，每个处理小区面积为 300 m^2，不设重复。于小麦扬花初期喷雾 1 次，水量 450 kg/hm^2。2019 年试验在镇江农业科学院行香试验基地进行。供试小麦品种：‘扬麦 15’。试验设 3 个重复，每个小区面积是 20 m^2。分别于小麦扬花初期和盛花期喷雾，水量 450 kg/hm^2。第一次施药 25 d 后开始调查。小麦赤霉病调查方法：每个大区内随机 10 点取样，每点调查 100 株穗，每个大区调查 1 000 穗。每个小区内随机 5 点取样，每点调查 100 株穗，每个小区调查 500 株穗。按照以下分级标准调查：0 级：无病；1 级：病穗面积占穗总面积的 25%以下；3 级：病穗面积占穗总面积的 26%～50%；5 级：病穗面积占穗总面积的 51%～75%；7 级：病穗面积占穗总面积的 76%以上。小麦叶锈病调查方法：每小区选择 5 点取样，每点调查 20 株。每株调查顶部 3 叶片，以每片叶片上病斑面积占整个叶面积的百分率分级。分级标准为：0 级：无病；1 级：病斑面积占整个叶片面积的 5%以下；3 级：病斑面积占整个叶片面积的 6%～25%；5 级：病斑面积占整个叶片面积的 26%～50%；7 级：病斑面积占整个叶片面积的 51%～75%；9 级：病斑面积占整个叶片面积的 76%以上。

病情指数＝100×∑(各级病穗(叶)数×相应级值)/(调查总穗(叶)数×最高级值)；

病指防效＝(对照病情指数－处理病情指数)/对照病情指数×100%。

1.3 统计分析

所得数据经 DPS 数据处理系统 Duncan 氏新复极差法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同杀菌剂对赤霉病的防治效果

2018 年泰州市试验田内小麦赤霉病发生中等，对照田块病穗率为 11.36%，病指为 4.73。不同杀菌剂对小麦赤霉病防效有差异，其中 200 g/L 氟唑菌酰羟胺 SC 和 48%氰烯·戊唑醇 SC 防效最好，分别为 88.92%和 87.48%；其次是 25%氰烯菌酯 SC 和 20%叶菌唑 SC，分别为 83.54%和 84.90%；430 g/L戊唑醇 SC、400 g/L 戊唑·咪鲜胺 EW 和 42%多菌·戊唑醇 SC 防效一般，为 70%左右；50%多菌灵 WP 防效较差，仅为 58.05%(表 1)。

2019 年句容试验田块小麦赤霉病发生较轻，对照

田块平均病穗率为 3.2%,平均病情指数为 1.78。不同杀菌剂对小麦赤霉病防效有差异,其中:40%叶菌·戊唑醇 SC、30%丙硫菌唑 SC 防效最好,分别为 94.11%和 91.44%;其次是 200 g/L 氟唑菌酰羟胺 SC、275 g/L 氟唑菌酰羟胺·丙环唑 SE 和 40%丙硫·戊唑醇 SC,防效分别为 89.93%,88.20%和 86.62%;25%氰烯菌酯 SC、430 g/L 戊唑醇 SC 和 48% 氰烯·戊唑醇 SC 的防效一般,分别为 76.61%,71.11%和 78.06%;50%多菌灵 WP 和 400 g/L 戊唑·咪鲜胺 EW 效果最差,仅为 60.94%和 63.24%(表 2)。

表 1　不同杀菌剂对小麦赤霉病的防治效果(2018 年)

Table 1　Control efficacy of different fungicides on Fusarium head blight in 2018

处理 Treatment	有效剂量/g·(hm²)⁻¹ Effective dose	病情指数 Disease index	防效/% Control efficacy
200 g/L 氟唑菌酰羟胺 SC　pydiflumetofen 200 g/L SC	180	0.52	88.92
25% 氰烯菌酯 SC　phenamacril 25% SC	375	0.78	83.54
20% 叶菌唑 SC　metconazole 20% SC	150	0.71	84.90
430 g/L 戊唑醇 SC　tebuconazole 430 g/L SC	194	1.26	73.31
50% 多菌灵 WP　carbendazim 50% WP	750	1.99	58.05
48% 氰烯·戊唑醇 SC　phenamacril·tebuconazole 48% SC	360	0.59	87.48
400 g/L 戊唑·咪鲜胺 EW　tebuconazole·prochloraz 400 g/L EW	150	1.33	71.87
42%多菌·戊唑醇 SC　carbendazim·tebuconazole 42% SC	504	1.56	67.11
对照 CK	—	4.73	—

2.2　不同杀菌剂对小麦叶锈病的防治效果

2019 年句容试验田块小麦叶锈病发生较重,对照田块平均病指为 26.11。不同药剂处理中,430 g/L戊唑醇 SC、30%丙硫菌唑 SC 以及 40%丙硫·戊唑醇 SC 防效较好,防效分别为 88.33%,85.58%和 84.78%;其次是 400 g/L 戊唑·咪鲜胺 EW、48%氰烯·戊唑醇 SC、40%叶菌·戊唑醇 SC 和 275 g/L 氟唑菌酰羟胺·丙环唑 SE,防效分别为 81.56%,80.43%,80.86%和 79.66%;200 g/L 氟唑菌酰羟胺 SC 防效为 69.36%;50%多菌灵 WP 防效为 39.33%;25%氰烯菌酯 SC 的防效仅为 7.21%(表 2)。

表 2　不同杀菌剂对小麦赤霉病和叶锈病的防治效果(2019 年)[1)]

Table 2　Control efficacy of different fungicides on Fusarium head blight and leaf rust in 2019

处理 Treatment	有效剂量/g·(hm²)⁻¹ Effective dose	小麦赤霉病 Fusarium head blight		小麦叶锈病 Leaf rust	
		病情指数 Disease index	防效/% Control efficacy	病情指数 Disease index	防效/% Control efficacy
200 g/L 氟唑菌酰羟胺 SC　pydiflumetofen 200 g/L SC	180	(0.18±0.10)cd	89.93	(8.00±1.97)c	69.36
25% 氰烯菌酯 SC　phenamacril 25% SC	375	(0.42±0.37)bcd	76.61	(24.23±4.17)a	7.21
30% 丙硫菌唑 SC　prothioconazole 30% SC	180	(0.15±0.11)d	91.44	(3.77±0.92)d	85.58
430 g/L 戊唑醇 SC　tebuconazole 430 g/L SC	194	(0.51±0.22)bc	71.11	(3.05±0.76)d	88.33
50% 多菌灵 WP　carbendazim 50% WP	750	(0.70±0.16)b	60.94	(15.84±2.76)b	39.33
400 g/L 戊唑·咪鲜胺 EW　tebuconazole·prochloraz 400 g/L EW	150	(0.65±0.22)b	63.24	(4.81±0.43)cd	81.56
275 g/L 氟唑菌酰羟胺·丙环唑 SE　pydiflumetofen·propiconazole 275 g/L SE	248	(0.21±0.16)cd	88.20	(5.31±1.96)cd	79.66
48% 氰烯·戊唑醇 SC　phenamacril·tebuconazole 48% SC	360	(0.39±0.08)bcd	78.06	(5.11±1.42)cd	80.43
40% 丙硫·戊唑醇 SC　prothioconazole·tebuconazole 40% SC	240	(0.24±0.27)cd	86.62	(3.97±1.97)d	84.78
40% 叶菌·戊唑醇 SC　metconazole·tebuconazole 40% SC	240	(0.10±0.03)d	94.11	(5.00±2.04)cd	80.86
对照 CK	—	(1.78±0.14)a	—	(26.11±3.32)a	—

1) 表中数据为平均值±标准差。同列数据后不同小写字母表示药剂处理之间差异显著($P<0.05$)。
Data in the table are mean±SD. Different small letters after the values within the same column indicate significant difference at 0.05 level after treatment by different fungicides.

3　讨论

DMIs 是目前杀菌剂中最大的一类,该类杀菌剂防治谱宽,对很多病原菌都有很好的抑制活性[10-11]。该类药剂中戊唑醇、三唑酮、氟环唑等被广泛用于我国小麦病害的防治,2019 年登记用于小麦赤霉病防治的药剂中戊唑醇及复配剂比例为 17.68%。丙硫菌唑和叶菌唑 2018 年底在我国正式登记,目前这两种药剂

在我国小麦病害防治上还处于示范推广阶段。刘萍等研究表明48%丙硫菌唑SC(有效剂量288 g/hm²)对小麦赤霉病的防效为90.71%[12]。王同岁研究表明30%丙硫菌唑SC(有效剂量157～202.5 g/hm²)用药两次对小麦赤霉病的防效达到80.41%～90.52%[13]。刘扬等研究表明40%丙硫菌唑·戊唑醇SC(有效剂量120～180 g/hm²)对小麦锈病的防效为82.47%～86.67%[14]。潘燕等研究表明40%叶菌唑EW(有效剂量180 g/hm²)对小麦赤霉病的防效为87.30%[15]。本研究比较了戊唑醇、丙硫菌唑、叶菌唑以及它们的复配剂对小麦赤霉病和锈病的防治效果,结果表明:丙硫菌唑和叶菌唑对小麦赤霉病的防效高于戊唑醇,而对小麦叶锈病的防效低于戊唑醇。丙硫·戊唑醇和叶菌·戊唑醇对小麦赤霉病和叶锈病都表现出很好的防效,达到了两种病害的兼顾防治。

氰烯菌酯是我国自主研发的一种新型杀菌剂,2012年在我国小麦上正式登记,用于小麦赤霉病的防治[16]。目前还未有抗药性的报道,本研究表明该药剂仍然对小麦赤霉病有很好的防治效果,但该药剂防治谱窄,仅对镰孢菌有效。本研究也证实了该药剂对小麦叶锈病防治效果差。小麦赤霉病菌对氰烯菌酯存在中到高等抗性风险[17],因此建议生产上使用氰烯菌酯与戊唑醇的复配剂,这样既可以兼顾防治其他病害,还可以延缓抗药性的产生。

自1966年报道萎锈灵以来,SDHI类杀菌剂历经了3代演替,生物活性得到了很大的提高且防治谱也得到扩大[18-20]。但是已上市的品种中大部分对小麦赤霉病菌抑制活性较差,氟唑菌酰羟胺是目前该类杀菌剂唯一将要登记用于我国小麦赤霉病的药剂。本研究表明该药剂对小麦赤霉病有优异的防治效果,对小麦叶锈病也有一定的防治效果。该药剂与丙环唑的复配提高了对小麦叶锈病的防治效果。

在小麦赤霉病菌对多菌灵已产生抗药性的情况下,为延缓其抗药性的再发展及更好地控制新杀菌剂抗药性的发生,建议在生产上将以上药剂作为防治小麦赤霉病的替代药剂进行轮换使用。虽然小麦锈病属于低抗药性风险的病原菌,关于其抗药性的报道较少,但是在防治过程中仍需要将不同作用机理的药剂进行轮换和复配使用,提高该病害的防治效果以及避免抗药性的产生。

参考文献

[1] 陈云,王建强,杨荣明,等. 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.

[2] 陈顺和,张勇,别同德,等. 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.

[3] 刘万才,刘振东,黄冲,等. 近10年农作物主要病虫害发生危害情况的统计和分析[J]. 植物保护,2016,42(5):1-9.

[4] 张梦雅,孟庆芳,张林,等. 不同小麦品种叶锈菌的遗传多样性分析[J]. 河南农业科学,2018,47(9):77-81.

[5] 夏得壮. 中国部分省区小麦叶锈菌群体遗传结构研究[D]. 北京:中国农业科学院,2015.

[6] 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.

[7] 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 multivariatemeta-analysis [J]. Phytopathology, 2008, 98(9): 999-1011.

[8] JØRGENSEN L N, MATZEN N, HANSEN J G, et al. Four azoles' profile in the control of Septoria, yellow rust and brown rust in wheat across Europe [J]. Crop Protection, 2018, 105: 16-27.

[9] 张娜,康晓慧,彭玉娇,等. 部分麦区小麦条锈菌对粉锈宁的抗药性监测[J]. 安徽农业科学,2011,39(30):18608-18609.

[10] Fungicide Resistance Action Committee [EB/OL]. (2019-06-10) [2019-10-14]http://www.frac.info.

[11] PRICE C L, PARKER J E, WARRILOW A G S, et al. Azole fungicides-understanding resistance mechanisms in agricultural fungal pathogens [J]. Pest Management Science, 2015, 71(8): 1054-1058.

[12] 刘萍,李东明,徐东祥. 48%丙硫菌唑等药剂防治小麦赤霉病田间药效试验[J]. 农家参谋,2019(10):91.

[13] 王同岁. 30%丙硫菌唑可分散油悬浮剂防治小麦赤霉病田间药效试验[J]. 安徽农学通报,2018,24(20):82.

[14] 刘扬,王尔金,张彦,等. 40%丙硫·戊唑醇悬浮剂防治小麦锈病田间药效试验[J]. 现代农业科技,2018(23):135.

[15] 潘燕,孔详英,秦吉洋,等. 不同药剂防治小麦赤霉病试验研究[J]. 上海农业科技,2019(3):119-122.

[16] LI Hengkui, DIAO Yamei, WANG Jianxin, et al. JS399-19, a new fungicide against wheat scab [J]. Crop Protection, 2008, 27(1): 90-95.

[17] ZHENG Zhitian, HOU Yiping, CAI Yiqiang, et al. Whole-genome sequencing reveals that mutations in myosin-5 confer resistance to the fungicide phenamacril in *Fusarium graminearum* [J/OL]. Science Report, 2015, 5: 8248. DOI:10.1038/strep08248.

[18] AVENOT H F, MICHAILIDES T J. Progress in understanding molecular mechanisms and evolution of resistance to succinate dehydrogenase inhibiting (SDHI) fungicides in phytopathogenic fungi [J]. Crop Protection, 2009, 29(7): 643-651.

[19] 仇是胜,柏亚罗. 琥珀酸脱氢酶抑制剂类杀菌剂的研发进展(Ⅰ)[J]. 现代农药,2014,13(6):1-7.

[20] 仇是胜,柏亚罗. 琥珀酸脱氢酶抑制剂类杀菌剂的研发进展(Ⅱ)[J]. 现代农药,2015,14(1):1-7.

(责任编辑:杨明丽)