

叶菌唑与4种杀菌剂复配对小麦赤霉病的 毒力及防效

刘程程¹, 孙海燕², 张雯婷¹, 储西平^{1,2}, 明亮^{1,2*}

(1. 江苏省苏科农化有限责任公司, 南京 210014; 2. 江苏省农业科学院, 南京 210014)

摘要 采用菌丝生长速率法测定了叶菌唑分别与咪鲜胺、戊唑醇、丙硫菌唑和氟啶胺的几种不同配比复配剂对禾谷镰孢菌的室内联合毒力, 并通过田间试验评价复配剂对小麦赤霉病的防效。结果表明, 叶菌唑、咪鲜胺、戊唑醇、丙硫菌唑和氟啶胺对禾谷镰孢菌的有效抑制中浓度(EC_{50})分别为0.0163~0.0383、0.0147、0.2807、0.0945、0.2300 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 复配剂叶菌唑:咪鲜胺1:2和叶菌唑:戊唑醇1:1具有增效作用, SR值分别为1.5405和1.5153。按此比例制备了30%叶菌唑·咪鲜胺水乳剂和20%叶菌唑·戊唑醇悬浮剂用以进行田间防效试验, 结果显示, 这2个复配剂的田间防效均与用量呈正相关性, 且一次防效均在65%以上, 并且对小麦安全, 这一结果表明叶菌唑与咪鲜胺、戊唑醇这2种不同作用机制的杀菌剂可以复配使用, 大大延缓了小麦赤霉病菌抗药性的进一步加剧, 为赤霉病的综合防控和抗药性治理提供依据, 具有良好的市场开发前景。

关键词 叶菌唑; 咪鲜胺; 戊唑醇; 联合毒力; 田间防效

中图分类号: S 435.121.45 文献标识码: B DOI: 10.16688/j.zwhb.2019211

Synergistic toxicity and field control effects of metconazole mixed with four fungicides against *Fusarium graminearum* on wheat

LIU Chengcheng¹, SUN Haiyan², ZHANG Wenting¹, CHU Xiping^{1,2}, MING Liang^{1,2*}

(1. Suke Agro-Chemical of Jiangsu Province Co. Ltd., Nanjing 210014, China;

2. Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract Toxicities of metconazole, prochloraz, tebuconazole, prothioconazole, fluazinam and their mixtures to *Fusarium graminearum* in wheat were detected by mycelial growth assay in vitro, and the control efficacy of mixtures to wheat head blight disease was evaluated in the field. The results showed that the EC_{50} values for metconazole, prochloraz, tebuconazole, prothioconazole and fluazinam were 0.0163—0.0383, 0.0147, 0.2807, 0.0945 and 0.2300 $\mu\text{g}/\text{mL}$, respectively. The mixtures of metconazole and prochloraz with the ratio of 1:2, and metconazole and tebuconazole with the ratio of 1:1 demonstrated synergistic inhibition effect, with the synergy ratio of 1.5405 and 1.5153, respectively. 30% metconazole and prochloraz emulsion in water and 20% metconazole and tebuconazole suspension concentrates were prepared at this proportion in field trials. The results showed that field control effects of the two compound agents were positively correlated with the dosage, with the efficacy over 65%. These fungicides were safe to wheat at the used dosages. The above results indicated that metconazole mixed with prochloraz or tebuconazole can be used to defer the resistance of wheat head blight disease, which provides the basis for comprehensive control and resistance management, and has good market development prospects.

Key words metconazole; prochloraz; tebuconazole; synergistic toxicity; field control efficacy

小麦赤霉病是由禾谷镰孢 *Fusarium graminearum* 引起的世界性真菌病害。近些年, 受到全球气候和耕作制度等因素的影响, 小麦赤霉病的发生频率大

幅增加, 发生范围也逐渐扩大^[1]。小麦赤霉病的发生不仅会造成小麦减产, 还因产真菌毒素造成小麦品质下降, 对人畜健康构成严重威胁, 已成为当前制

* 收稿日期: 2019-04-24 修订日期: 2019-06-10

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0200500, 2018YFD0200505)

* 通信作者 E-mail: johnbright1300@163.com

约我国小麦生产安全及麦类食品安全最重要的病害之一^[2-4]。生产上防治小麦赤霉病主要采用以抗病品种为基础、以药剂防治为重点的综合防治方法。但抗病品种的选育存在抗性改良周期长、高效抗性种质资源缺乏等一系列问题^[5-6], 使用化学药剂仍然是防治小麦赤霉病的重要措施。目前防治小麦赤霉病的药剂还是以多菌灵为主^[7], 由于多年连续使用, 抗性问题发展迅速, 抗性菌株检出率急剧上升, 防效也逐年下降^[8], 因此开发新的替代药剂或新复配剂迫在眉睫。目前报道的替代药剂中, 苯唑抑制剂如叶菌唑、戊唑醇、咪鲜胺效果较好^[9-11]。叶菌唑属于新型三唑类杀菌剂, 其作用机理是作为麦角甾醇生物合成中 C-14 脱甲基化酶抑制剂, 对由壳针孢、镰孢和柄锈菌等引起的病害防效卓越^[12]。戊唑醇和丙硫菌唑也属于三唑类杀菌剂, 但与叶菌唑的活性谱有较大的差别。咪鲜胺属于咪唑类杀菌剂, 它通过抑制菌体麦角甾醇化合物的生物合成, 对子囊菌和半知菌等引起的病害具有极佳的防效^[13]。氟啶胺属于吡啶胺类杀菌剂, 是线粒体氧化磷酸化解偶联剂, 对多种真菌病害具有较好的防治效果^[14-15]。

本研究采用菌丝生长速率法测定了叶菌唑与丙硫菌唑、氟啶胺、咪鲜胺和戊唑醇的几种不同配比复配剂对禾谷镰孢的室内联合毒力, 筛选出有增效效果的杀菌剂组合, 并通过田间试验评价各复配剂对小麦赤霉病的防效, 这不仅为缓解老药剂的抗性问题找到了合理的途径, 也为防治小麦赤霉病提供更多、更新的药剂选择。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试菌株: 本试验所用禾谷镰孢菌株由江苏省农业科学院植物保护研究所提供。

禾谷镰孢的培养以及室内药剂试验采用 PDA 培养基^[16]: 马铃薯 200.0 g, 葡萄糖 10.0 g, 琼脂 20.0 g, 水 1 000 mL, pH 自然。

95% 叶菌唑(metconazole)原药, 98% 咪鲜胺(prochloraz)原药, 江苏辉丰生物农业股份有限公司生产; 98% 戊唑醇(tebuconazole)原药, 江苏龙灯化学有限公司生产; 95% 丙硫菌唑(prothioconazole)原药, 山东海利尔化工有限公司生产; 98% 氟啶胺(fluazinam)原药, 南京红太阳股份有限公司生产。将各药剂用甲醇

配制成 10 mg/mL 母液冷藏备用。30% 叶菌唑·咪鲜胺水乳剂, 其中叶菌唑 10%、咪鲜胺 20%; 20% 叶菌唑·戊唑醇悬浮剂, 叶菌唑和戊唑醇各含 10%。以上两种复配药剂均为实验室自行配制。

1.2 试验方法

1.2.1 药剂对禾谷镰孢的毒力测定

采用菌丝生长速率法^[17]。分别将叶菌唑、咪鲜胺、戊唑醇、丙硫菌唑、氟啶胺的母液依次稀释至一定浓度, 再将 1 mL 药液与 9 mL PDA 培养基在培养皿内混匀, 制成含系列梯度浓度药剂的 PDA 培养基。叶菌唑、氟啶胺、咪鲜胺在含药 PDA 培养基中的系列梯度浓度为 0.006 25、0.012 5、0.025、0.05、0.1、0.2、0.4 μg/mL, 丙硫菌唑和戊唑醇在含药 PDA 培养基中的系列梯度浓度为 0.012 5、0.025、0.05、0.1、0.2、0.4、0.8 μg/mL, 叶菌唑和 4 种药剂的复配在含药 PDA 培养基中的系列梯度浓度为 0.009 375、0.018 75、0.037 5、0.075、0.15、0.3、0.6 μg/mL, 各药剂均按 2 倍梯度稀释成 7 个浓度, 以无菌水做空白对照, 各处理重复 3 次。叶菌唑与 4 种药剂的母液配比分别是, 叶菌唑: 丙硫菌唑(3:1、2:1、1:1、1:2、1:3、1:5), 叶菌唑: 氟啶胺(3:1、2:1、1:1、1:2、1:3、1:5), 叶菌唑: 咪鲜胺(1:1、1:2、1:3、1:4、1:5), 叶菌唑: 戊唑醇(2:1、3:2、1:1、2:3、1:2)。

将抑制率转换成几率值, 同时将浓度换算成自然对数(ln), 以抑制率几率值为 y, 浓度的自然对数为 x, 计算毒力回归方程, 并求出各供试药剂及配比的 EC₅₀。根据 Wadley 的方法^[18]计算混配剂的相互作用。以增效系数(synergistic ratio, SR)值分析混配的效果。

$$EC_{50(\text{th})} = (a+b)/[a/EC_{50}(\text{A})+b/EC_{50}(\text{B})];$$

$$SR = EC_{50(\text{th})}/EC_{50(\text{ob})}.$$

其中, EC_{50(th)} 为理论值, A、B 分别代表两个药剂组分, a、b 是各组分在混剂中含量的比率。EC_{50(ob)} 为实际观察值, SR ≤ 0.5, 混剂有拮抗作用; SR = 0.5~1.5, 混剂有加和作用; SR ≥ 1.5, 则混剂有增效作用。

1.2.2 田间药效试验

1.2.2.1 试验点概况

试验于 2017 年 4 月—6 月在江苏省农科院试验地小麦田内进行, 供试小麦品种为‘淮麦 33 号’(高感赤霉病), 近年来试验田块小麦赤霉病发生较重, 试验田土壤为壤质土, 有机质含量中等, 肥水管

理按照常规进行。

1.2.2.2 试验设计

于小麦扬花期喷小麦赤霉病菌孢子悬浮液(浓度为 1×10^6 个/mL)接种,2 d后施药。试验设5个处理,分别为30%叶菌唑·咪鲜胺水乳剂600、750 g/hm²,20%叶菌唑·戊唑醇悬浮剂600、750 g/hm²,清水作为空白对照,每处理重复3次,共设15个小区,小区面积为20 m²,小区设保护行,随机区组排列。

1.2.2.3 结果调查与分析

施药后30 d调查小麦赤霉病的发展情况,调查方法为每小区对角线取5点(每点50穗,共250穗),分级标准以及数据处理方法参照农业部农药检定所编写的《农药田间药效试验准则》^[19]。

1.2.2.4 安全性调查

在施药后1、3、7 d目测调查供试药剂处理后小

麦的叶形、叶色以及扬花情况等有无药害症状。

2 结果与分析

2.1 叶菌唑与4种杀菌剂复配对禾谷镰孢的室内毒力测定

室内毒力测定采用菌丝生长速率法进行测定,结果显示(表1~4),叶菌唑、咪鲜胺、戊唑醇、丙硫菌唑和氟啶胺对供试禾谷镰孢的EC₅₀分别为0.016 3~0.038 3、0.014 7、0.280 7、0.094 5、0.230 0 μg/mL,其中叶菌唑和咪鲜胺对禾谷镰孢菌丝生长的抑制活性较强。叶菌唑与4种杀菌剂混配后的增效系数(SR)均大于0.5,表明所有混剂均无拮抗作用,其中叶菌唑与咪鲜胺配比为1:2和叶菌唑与戊唑醇配比为1:1的增效系数分别为1.540 5、1.515 3,均大于1.5,表现为增效作用。

表1 叶菌唑与咪鲜胺及其混剂对禾谷镰孢的毒力测定结果

Table 1 Toxicity of metconazole and prochloraz against *Fusarium graminearum*

叶菌唑:咪鲜胺 metconazole:prochloraz	斜率±标准误 Slope±SE	EC ₅₀ / μg·mL ⁻¹	95%置信限 95% confidence interval	χ ²	P	增效系数 SR
1:0	0.881 3±0.053 8	0.017 6	0.014 3~0.021 7	0.122 3	0.999 7	—
0:1	0.757 2±0.074 6	0.014 7	0.010 3~0.021 0	0.197 2	0.999 1	—
1:1	0.817 1±0.052 3	0.014 1	0.010 8~0.018 6	0.098 3	0.999 8	1.133 7
1:2	0.769 5±0.040 3	0.010 1	0.007 9~0.013 0	0.058 6	0.999 9	1.540 5
1:3	0.746 5±0.042 3	0.013 9	0.010 9~0.017 7	0.069 8	0.999 9	1.102 6
1:4	0.727 4±0.044 6	0.014 1	0.010 9~0.018 3	0.072 6	0.999 9	1.078 8
1:5	0.746 7±0.059 6	0.016 6	0.012 1~0.022 9	0.147 5	0.999 6	0.908 5

表2 叶菌唑与戊唑醇及其混剂对禾谷镰孢的毒力测定结果

Table 2 Toxicity of metconazole and tebuconazole against *Fusarium graminearum*

叶菌唑:戊唑醇 metconazole:tebuconazole	斜率±标准误 Slope±SE	EC ₅₀ / μg·mL ⁻¹	95%置信限 95% confidence interval	χ ²	P	增效系数 SR
1:0	0.942 0±0.077 3	0.016 3	0.012 2~0.021 7	0.173 7	0.999 4	—
0:1	1.071 9±0.034 2	0.280 7	0.251 9~0.312 8	0.032 4	0.999 9	—
2:1	0.938 4±0.049 9	0.022 6	0.018 7~0.027 4	0.076 6	0.999 9	1.049 0
3:2	0.923 9±0.046 5	0.021 9	0.018 3~0.026 3	0.060 0	0.999 9	1.191 4
1:1	0.796 9±0.036 3	0.020 3	0.017 1~0.024 1	0.048 2	0.999 9	1.515 3
2:3	0.983 3±0.062 9	0.035 2	0.028 9~0.043 0	0.138 4	0.999 6	1.063 3
1:2	1.027 3±0.053 9	0.045 2	0.038 9~0.052 6	0.099 9	0.999 8	0.968 4

表3 叶菌唑与丙硫菌唑及其混剂对禾谷镰孢的毒力测定结果

Table 3 Toxicity of metconazole and prothioconazole against *Fusarium graminearum*

叶菌唑:丙硫菌唑 metconazole:prothioconazole	斜率±标准误 Slope±SE	EC ₅₀ / μg·mL ⁻¹	95%置信限 95% confidence interval	χ ²	P	增效系数 SR
1:0	0.928 7±0.054 9	0.023 1	0.019 3~0.027 8	0.143 9	0.999 6	—
0:1	1.413 2±0.121 8	0.094 5	0.074 8~0.119 5	0.620 6	0.987 0	—
3:1	1.000 7±0.061 6	0.024 0	0.019 4~0.029 8	0.158 2	0.999 5	1.187 4
2:1	0.999 8±0.072 7	0.030 8	0.024 4~0.039 0	0.230 6	0.998 7	1.003 1
1:1	1.069 3±0.080 3	0.028 1	0.021 9~0.036 1	0.269 2	0.998 2	1.322 1
1:2	1.138 5±0.094 0	0.039 4	0.030 8~0.050 5	0.359 3	0.996 4	1.182 2
1:3	1.163 2±0.099 7	0.045 3	0.035 4~0.058 1	0.417 8	0.998 4	1.178 0

表4 叶菌唑与氟啶胺及其混剂对禾谷镰孢的毒力测定结果

Table 4 Toxicity of metconazole and fluazinam against *Fusarium graminearum*

叶菌唑:氟啶胺 metconazole:fluazinam	斜率±标准误 Slope±SE	EC ₅₀ / $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$	95%置信限 95% confidence interval	χ^2	P	增效系数 SR
1:0	1.120 9±0.058 9	0.038 3	0.033 5~0.044 8	0.137 4	0.999 6	—
0:1	0.978 2±0.063 4	0.230 0	0.181 7~0.308 4	0.138 0	0.999 6	—
3:1	1.033 7±0.055 4	0.057 8	0.049 7~0.066 9	0.125 3	0.999 7	0.837 0
2:1	1.240 7±0.058 7	0.062 4	0.055 6~0.072 1	0.136 4	0.999 7	0.849 9
1:1	1.064 5±0.044 3	0.091 6	0.081 9~0.102 9	0.077 1	0.999 9	0.716 9
1:2	1.190 9±0.035 7	0.137 8	0.126 6~0.151 3	0.052 8	0.999 9	0.625 5
1:3	0.796 3±0.045 4	0.171 5	0.142 0~0.203 7	0.087 5	0.999 9	0.595 7
1:5	0.792 3±0.021 6	0.210 8	0.192 0~0.230 9	0.017 0	0.999 9	0.594 9

2.2 叶菌唑与咪鲜胺、戊唑醇混配对小麦赤霉病的田间防治效果及安全性

在室内毒力测定结果的指导下,选择了有增效效果的2组药剂和配比进行田间试验,结果(表5)显示,4个药剂处理的防效高低依次是20%叶菌唑·戊唑醇悬浮剂750 g/hm²、30%叶菌唑·咪鲜胺水乳剂750 g/hm²、20%叶菌唑·戊唑醇悬浮剂600 g/hm²、

30%叶菌唑·咪鲜胺水乳剂600 g/hm²,防效分别为83.6%、77.3%、71.7%、68.9%,其中30%叶菌唑·咪鲜胺水乳剂的高剂量与低剂量防效存在显著差异。

施药后调查了小麦的叶形、叶色以及扬花情况等,均未发现药害症状,表明30%叶菌唑·咪鲜胺水乳剂和20%叶菌唑·戊唑醇悬浮剂在用量为600、750 g/hm²时对小麦安全。

表5 叶菌唑与两种药剂混配对小麦赤霉病的田间防效

Table 5 Control efficacy of metconazole mixed with two fungicides against wheat head blight disease in field

药剂 Fungicide	用量/g·(hm ²) ⁻¹ Dosage	病穗率/% Incidence	病情指数 Disease index	防治效果/% Control efficacy
30%叶菌唑·咪鲜胺 EW metconazole·prochloraz 30% EW	600	21.2	8.9	68.9 b
	750	14	6.5	77.3 a
20%叶菌唑·戊唑醇 SC metconazole·tebuconazole 20% SC	600	14.8	8.1	71.7 ab
	750	10.4	4.7	83.6 a
对照 CK	—	43.9	28.6	—

3 讨论

选育高产优质抗病品种固然是预防小麦赤霉病的最根本途径,但由于赤霉病的抗性机理复杂,导致抗性品种资源缺乏^[20]。在小麦赤霉病的流行年份,最有效的方法还是通过化学药剂防治。单个化学药剂的作用位点单一,长期使用易使病菌产生抗性,选择结构类型不同的杀菌剂进行科学复配不仅提高了药效,还延缓了病原菌对化学药剂产生抗药性,能更有效地解决小麦赤霉病防治中出现的问题^[21]。国内外的研究表明,三唑类杀菌剂叶菌唑与戊唑醇单剂对小麦赤霉病具有很好的预防和治疗作用^[22~26],咪鲜胺作为咪唑类杀菌剂,能有效抑制抗多菌灵菌株,可防治具有多菌灵抗性的禾谷镰孢引起的小麦赤霉病^[26]。目前叶菌唑与戊唑醇、咪鲜胺、丙硫菌唑和氟啶胺的复配剂研究还未见文献报道。

在前人研究的基础上,本研究采用菌丝生长速率法检测了叶菌唑与4种杀菌剂的几种配比复配剂对禾谷镰孢的室内联合毒力,并分析了复配剂的联合作用类型。结果表明,叶菌唑与4种杀菌剂混配后均表现出相加及增效作用,其中叶菌唑与咪鲜胺配比为1:2和叶菌唑与戊唑醇配比为1:1有增效作用,且任一药剂比例增加时增效系数均表现出下降趋势。初步确定了叶菌唑与咪鲜胺和戊唑醇复配的最佳比例,并按此比例制备了30%叶菌唑·咪鲜胺水乳剂和20%叶菌唑·戊唑醇悬浮剂进行田间防效试验。2个复配剂的田间防效均与用量呈正相关,且药后30 d防效均在65%以上,表明30%叶菌唑·咪鲜胺水乳剂和20%叶菌唑·戊唑醇悬浮剂具有良好的市场开发前景,但本研究的大田试验的用量和防效有待进一步完善;药剂对小麦产量及籽粒中DON等毒素积累的影响有待进一步研究;复配制剂的剂型也有待进一步优化。

参考文献

- [1] 刘易科, 佟汉文, 高春保, 等. 小麦赤霉病抗性改良研究进展 [J]. 麦类作物学报, 2016, 36(1): 51–57.
- [2] ATANASSOV Z, NAKAMURA C, MORI N, et al. Mycotoxin production and pathogenicity of *Fusarium* species and wheat resistance to *Fusarium* head blight [J]. Canadian Journal of Botany, 1994, 72(2): 161–167.
- [3] CHEN Changjun, WANG Jianxin, LUO Qingquan, et al. Characterization and fitness of carbendazim-resistant strains of *Fusarium graminearum* (wheat scab) [J]. Pest Management Science, 2007, 63(12): 1201–1207.
- [4] 王裕中, 米勤 J D. 中国小麦赤霉病菌优势种——禾谷镰刀菌产毒素能力的研究 [J]. 真菌学报, 1994, 13(3): 229–234.
- [5] 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.
- [6] 程顺和, 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.
- [7] LIU Xin, YIN Yanni, WU Jianbing, et al. Identification and characterization of carbendazim-resistant isolates of *Gibberella zeae* [J]. Plant Disease, 2010, 94(9): 1137–1142.
- [8] 王建新, 周明国, 陆悦健, 等. 小麦赤霉病菌抗药性群体动态及其治理药剂 [J]. 南京农业大学学报, 2002, 25(1): 43–47.
- [9] DARDIS J, WALSH E J. Studies on the effectiveness of metconazole in controlling *Fusarium* head blight caused by *Fusarium culmorum* in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Cereal Research Communications, 2000, 28(4): 443–448.
- [10] MENNITI A M, PANCALDI D, MACCAFERRI M, et al. Effect of fungicides on *Fusarium* head blight and deoxynivalenol content in durum wheat grain [J]. European Journal of Plant Pathology, 2003, 109(2): 109–115.
- [11] HAIDUKOWSKI M, PASCALE M, PERRONE G, et al. Effect of fungicides on the development of *Fusarium* head blight, yield and deoxynivalenol accumulation in wheat inoculated under field conditions with *Fusarium graminearum* and *Fusarium culmorum* [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2005, 85(2): 194–198.
- [12] 徐炜枫, 闫晓阳, 刁春友. 叶菌唑在小麦中的最终残留研究 [J]. 现代农药, 2016, 15(6): 47–49.
- [13] 李鸿筠, 刘浩强, 戴建修, 等. 吡虫啉对不同品种柑桔的保鲜效果评价 [J]. 中国南方果树, 2017, 46(4): 21–23.
- [14] 胡军. 防治白紫根霉病杀菌剂氟啶胺及其新施用方法 [J]. 世界农药, 2003, 25(2): 47–48.
- [15] KALAMARAKIS A E, PETSIKOS-PANAGIOTAROU N, MAVROIDIS B, et al. Activity of fluazinam against strains of *Botrytis cinerea* resistant to benzimidazoles and/or dicarboximides and to a benzimidazole-phenylcarbamate mixture [J]. Journal of Phytopathology, 2000, 148(7/8): 449–455.
- [16] 易龙, 肖崇刚, 马冠华, 等. 防治烟草赤星病有益内生细菌的筛选及抑菌作用 [J]. 微生物学报, 2004, 44(1): 19–22.
- [17] 赵斌, 何绍江. 微生物学实验 [M]. 北京: 科学出版社, 2002: 251.
- [18] WADLEY F M. Experimental statistics in entomology [M]. Graduate School Press, U. S. Dept of Agriculture, 1967: 387.
- [19] 中华人民共和国农业部农药检定所. 农药田间药效试验准则 第15部分: 杀菌剂防治小麦赤霉病 NY/T 1464. 15—2007 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [20] 刘易科, 佟汉文, 朱展望, 等. 小麦赤霉病抗性机理研究进展 [J]. 中国农业科学, 2016, 49(8): 1476–1488.
- [21] 戴大凯, 贾晓静, 周明国, 等. 小麦赤霉病菌多菌灵抗性群体的扩散路径分析: 基于致病菌种类及所产毒素化学型鉴定和抗药性检测的时序性 [J]. 农药学学报, 2013, 15(3): 279–285.
- [22] 韩青梅, 康振生, 段双科. 戊唑醇与羟菌唑对小麦赤霉病的防治效果及对小麦产量的影响 [J]. 西北农林科技大学学报, 2005, 33(7): 40–44.
- [23] SIRANIDOU E, BUCHENAUER H. Chemical control of *Fusarium* head blight on wheat [J]. Journal of Plant Diseases and Protection, 2001, 108(3): 231–243.
- [24] MATTHIES A, BUCHENAUER H. Effect of tebuconazole (Folicur) and prochloraz (Sportak) treatments on *Fusarium* head scab development, yield and deoxynivalenol (DON) content in grains of wheat following artificial inoculation with *Fusarium culmorum* [J]. Journal of Plant Diseases and Protection, 2000, 107(1): 33–52.
- [25] 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.
- [26] 吉沐祥, 陈宏洲, 姚克兵, 等. 吡虫啉与氟环唑及其混配对小麦赤霉病菌的抑制作用 [J]. 江西农业学报, 2013, 25(10): 68–70.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 247 页)

- [19] 武怀恒, 姜干明, 黄民松, 等. 40% 氟啶虫胺腈·乙基多杀菌素水分散粒剂防治水稻纵卷叶螟和飞虱田间药效 [J]. 华中昆虫研究, 2015, 11: 189–193.
- [20] 宫庆涛, 武海斌, 张坤鹏, 等. 氟啶虫胺腈对苹果黄蚜室内毒力测定及田间防治效果 [J]. 农药, 2014, 53(10): 759–761.
- [21] 周浩, 邵菖南, 翟一凡, 等. 氟啶虫胺腈、乙基多杀菌素及其混剂对地熊蜂的毒性及风险评估 [J]. 昆虫学报, 2017, 60(7): 809–816.

- [22] 董松. 吡虫啉和氟啶虫胺腈对绿盲蝽的亚致死效应 [D]. 济南: 山东农业大学, 2018.
- [23] 郭天凤, 史雪岩, 高希武, 等. 棉蚜吡虫啉、啶虫脒不同品系解毒酶活性测定和增效剂作用的研究 [J]. 环境昆虫学报, 2014, 36(3): 388–394.
- [24] 毕锐. 大豆蚜抗高效氯氟氰菊酯的分子机制及差异蛋白质组学分析 [D]. 长春: 吉林大学, 2016.

(责任编辑: 杨明丽)