

小麦白粉病菌对氟唑菌酰羟胺的敏感基线建立

杜笑笑^{1,2#}, 张欣颖^{1,2#}, 丁 成¹, 张美惠¹, 王奥霖¹, 袁军海²,
瓮巧云², 范洁茹^{*}, 刘 伟^{1*}, 周益林¹

(1. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害综合治理全国重点实验室, 北京 100193;

2. 河北北方学院农林科技学院, 张家口 075000)

摘要 氟唑菌酰羟胺是一种新型琥珀酸脱氢酶抑制剂(succinate dehydrogenase inhibitor, SDHI)类杀菌剂, 2019年在我国登记在小麦上防治赤霉病, 为明确其对小麦白粉病的潜在防治效果, 以及为监测小麦白粉病菌群体对其是否产生抗药性, 本文采用离体叶段法测定了2000年前和2019年采自我国河南、山东等9省市的110株小麦白粉病菌菌株对氟唑菌酰羟胺的敏感性。结果表明, 采自2019年的88株菌株, 其 EC_{50} 范围为0.010 2~0.766 8 $\mu\text{g/mL}$, 平均 EC_{50} 为(0.224 3 $\pm$ 0.179 6) $\mu\text{g/mL}$; 采自2000年前的22株菌株, 其 EC_{50} 范围为0.052 1~0.882 4 $\mu\text{g/mL}$, 平均 EC_{50} 为(0.356 3 $\pm$ 0.279 6) $\mu\text{g/mL}$; 两组菌株群体间的敏感性无显著差异。氟唑菌酰羟胺对110株菌株的 EC_{50} 范围为0.010 2~0.882 4 $\mu\text{g/mL}$, 平均 EC_{50} 为(0.250 7 $\pm$ 0.210 3) $\mu\text{g/mL}$, 敏感性频率分布呈单峰曲线, 可作为小麦白粉病菌对氟唑菌酰羟胺的敏感基线。本研究结果可为氟唑菌酰羟胺防治小麦白粉病以及未来监测该病原菌对药剂的抗性提供参考依据。

关键词 氟唑菌酰羟胺; 小麦白粉病菌; 敏感基线

中图分类号: S 435.121.46 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2023056

Baseline sensitivity of *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* to pydiflumetofen in China

DU Xiaoxiao^{1,2#}, ZHANG Xinying^{1,2#}, DING Cheng¹, ZHANG Meihui¹, WANG Aolin¹, YUAN Junhai²,
WENG Qiaoyun², FAN Jieru^{1*}, LIU Wei^{1*}, ZHOU Yilin¹

(1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. College of Agriculture and Forestry Science and Technology, Hebei North University, Zhangjiakou 075000, China)

Abstract Pydiflumetofen is a succinate dehydrogenase inhibitor (SDHI), which was registered for controlling Fusarium head blight in wheat in 2019 in China. To clarify the potential control effect on wheat powdery mildew and monitor resistance of *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* (*Bgt*) to pydiflumetofen, the sensitivities of 110 *Bgt* isolates collected from nine provinces such as Henan, Shandong and so on in 2019 and before 2000, were determined by detached leaf segments method. The EC_{50} values of pydiflumetofen against 88 *Bgt* isolates collected in 2019 ranged from 0.010 2 to 0.766 8 $\mu\text{g/mL}$, and the mean EC_{50} value was (0.224 3 $\pm$ 0.179 6) $\mu\text{g/mL}$. The EC_{50} values of pydiflumetofen against 22 *Bgt* isolates collected before 2000 ranged from 0.052 1 to 0.882 4 $\mu\text{g/mL}$, and the mean EC_{50} value was (0.356 3 $\pm$ 0.279 6) $\mu\text{g/mL}$, while there was no significant difference on EC_{50} values between 2019 and before 2000. The EC_{50} values of 110 *Bgt* isolates to pydiflumetofen ranged from 0.010 2 to 0.882 4 $\mu\text{g/mL}$, and the mean EC_{50} value was (0.250 7 $\pm$ 0.210 3) $\mu\text{g/mL}$. The frequency distribution of EC_{50} values of 110 *Bgt* isolates to pydiflumetofen showed a unimodal curve and could be regarded as the baseline sensitivity. The above results provides data support for controlling wheat powdery mildew and monitoring the pydiflumetofen resistance of *Bgt*.

Key words pydiflumetofen; *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*; baseline sensitivity

收稿日期: 2023-02-13 修订日期: 2023-04-03

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFD1400900)

* 通信作者 E-mail: 范洁茹 fanjieru1981@126.com; 刘伟 wliusdau@163.com

由专性寄生真菌禾布氏白粉菌小麦专化型 *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* (Bgt) 引起的小麦白粉病是典型的气传多循环病害, 2000 年以来在我国的年发生面积为 515 万~870 万 hm^2 , 对小麦生产造成严重危害^[1]。化学防治因其能在短时间内对大面积发生的病害进行有效控制, 见效快、防效稳定, 仍是小麦白粉病防治的重要手段之一。

氟唑菌酰胺(pydiflumetofen)是由先正达公司(现属中国化工)2016 年研发出的一种新型琥珀酸脱氢酶抑制剂(succinate dehydrogenase inhibitors, SDHI)类杀菌剂^[2], 该杀菌剂通过抑制病原菌琥珀酸脱氢酶活性, 抑制呼吸链复合物 II 中的泛醌还原反应, 进而影响三羧酸循环, 干扰线粒体呼吸作用, 阻碍其能量代谢, 进而抑制病原菌生长^[3]。氟唑菌酰胺高效低毒, 还具有内吸性和安全性等优点, 杀菌谱广, 对多种植物病原菌具有很好的抑制活性^[2-3], 在国外, 氟唑菌酰胺已经登记用于防治小麦白粉病、锈病、叶斑病和赤霉病等多种病害。但是, 由于 SDHIs 杀菌剂作用位点单一, 使用广泛, 抗性问题的日益突出, 已被杀菌剂抗性行动委员会(Fungicide Resistance Action Committee, FRAC)归为中等至高抗性风险杀菌剂^[4]。因此, 明确病原菌对氟唑菌酰胺的敏感基线, 监测病原菌对该杀菌剂的抗药性, 能够为药剂的合理施用提供依据。

氟唑菌酰胺在我国已于 2019 年 12 月在小麦上登记, 用于防治赤霉病^[5]。由于在防治时期, 大田中常常混合发生白粉病、锈病等, 为研究其对小麦白粉病的防治效果, 监测小麦白粉病菌对其产生抗药性的情况, 本研究通过测定我国小麦白粉病菌群体对氟唑菌酰胺的敏感性, 建立小麦白粉病菌对氟唑菌酰胺的敏感基线, 为该药剂在小麦白粉病防治中的合理用药和抗药性监测提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

小麦白粉病菌菌株, 共 110 株, 其中 88 株为 2019 年采自我国河南、山东、湖北、北京、河北、江苏、青海、陕西、甘肃等 9 省市(表 1), 22 株为 2000 年以前采集的菌株, 采集自河南、北京、贵州、云南、四川、新疆等省市, 均保存于中国农业科学院植物保护研究所麦类病害研究组。

小麦白粉病高感品种‘京双 16’, 由中国农业科

学院植物保护研究所麦类病害研究组提供。

200 g/L 氟唑菌酰胺(pydiflumetofen)悬浮剂, 瑞士先正达作物保护有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 供试药剂的配制

将 200 g/L 氟唑菌酰胺悬浮剂用无菌水进行系列梯度稀释至 0.025、0.05、0.1、0.2、0.4、0.8、1.6、3.2 $\mu\text{g/mL}$, 用于敏感性测定。

1.2.2 小麦离体叶段的制备

无菌苗种植: 将‘京双 16’播种于直径 15 cm 的盆中, 用玻璃罩和 8 层纱布隔离, 置于 18~22℃ 的温室中培养 4~6 d, 待小麦长至一叶一心期, 备用。

离体叶段准备: 剪取一叶一心期的无菌小麦苗第一片叶中部 4 cm 叶段, 用于敏感性测定。

1.2.3 小麦白粉病菌分生孢子扩繁

将供试菌株的分生孢子采用抖接法接种于生长至一叶一心期的盆栽无菌苗上, 在 18~22℃ 的温室中培养 5 d, 待叶片上出现侵染点后, 剪取长有侵染点的叶段, 正面朝上摆放在含 60 $\mu\text{g/mL}$ 苯并咪唑的 0.5% 水琼脂培养基(WA)上, 置于培养箱中, 18℃、光周期 L//D=16 h//8 h 条件下培养 6 d 后收集孢子粉, 用于敏感性测定。

1.2.4 小麦白粉病菌对氟唑菌酰胺的敏感性测定

敏感性测定采用离体叶段浸药法。将准备好的 4 cm 长的离体叶段浸泡于已配制好的系列浓度的氟唑菌酰胺药液中 30 min, 每个浓度 6 片叶段, 以无菌水浸泡处理为对照, 晾干后, 正面向上平铺在含有 60 $\mu\text{g/mL}$ 苯并咪唑的 0.5% 水琼脂平板上, 置于接种桶(直径 18 cm 高 20 cm)内接种, 将 50 μL 新鲜收集的分生孢子吹出, 使其自然沉降到叶片上, 然后置于培养箱中 18℃、光周期 L//D=16 h//8 h 条件下培养 8 d 后记录叶段的发病严重度, 即病斑面积占叶片总面积的百分比。

1.2.5 数据分析

1) 药剂对小麦白粉病菌的抑制中浓度 EC_{50} 的计算: 计算各药剂浓度处理下的抑制率, 抑制率=(1—处理叶段平均发病严重度/对照叶段平均发病严重度)×100%; 将抑制率转换为几率值; 以抑制率的几率值为 y , 药剂浓度的对数为 x , 得到回归方程 $y = ax + b$ 和相关系数 r , 并根据回归方程计算药剂对病菌的抑制中浓度 EC_{50} 。

2)不同群体的 EC_{50} 差异分析:氟唑菌酰胺对不同省份小麦白粉病菌的 EC_{50} 的差异显著性分析利用 R Gui 4. 2. 0 软件“agricolae”包的 LSD 法进行多重比较;而不同年份群体的 EC_{50} 差异分析,因两年份数据样本量不均衡,采用非参数检验(Wilcoxon 秩和检验,R Gui 4. 2. 0 wilcox. test 函数)。

2 结果与分析

2.1 2019 年采集的不同省份小麦白粉病菌对氟唑菌酰胺的敏感性

2019 年采自我国 9 省市的 88 株供试菌株对

氟唑菌酰胺的敏感性分布如表 1 所示,采自湖北省的菌株群体平均 EC_{50} 值最大,为 $(0.3817 \pm 0.2347) \mu\text{g/mL}$,其次为青海、甘肃和江苏的菌株群体,平均 EC_{50} 值分别为 (0.2340 ± 0.1730) $(0.2138 \pm 0.1496) \mu\text{g/mL}$ 和 $(0.2098 \pm 0.1328) \mu\text{g/mL}$,山东、河南、京冀和陕西的菌株群体的平均 EC_{50} 值较小,分别为 (0.1839 ± 0.1339) (0.1782 ± 0.1494) $(0.1647 \pm 0.1597) \mu\text{g/mL}$ 和 $(0.1597 \pm 0.1116) \mu\text{g/mL}$,除湖北菌株群体显著高于其他省之外,其余各省份的敏感性之间无显著性差异。

表 1 2019 年采集的不同省份小麦白粉病菌对氟唑菌酰胺的敏感性

省/市 Province/City		菌株数/株 Number of isolates	$EC_{50}/(\mu\text{g/mL})$	
			EC_{50} 范围	EC_{50} 平均值
			Range of EC_{50} value	Means of EC_{50} value
湖北	Hubei	14	0.058 1~0.766 8	$(0.3817 \pm 0.2347)\text{a}$
青海	Qinghai	11	0.079 4~0.651 2	$(0.2340 \pm 0.1730)\text{b}$
甘肃	Gansu	16	0.055 0~0.540 0	$(0.2138 \pm 0.1496)\text{b}$
江苏	Jiangsu	8	0.076 0~0.541 0	$(0.2098 \pm 0.1328)\text{b}$
山东	Shandong	10	0.020 6~0.483 8	$(0.1839 \pm 0.1339)\text{b}$
河南	Henan	11	0.029 0~0.576 8	$(0.1782 \pm 0.1494)\text{b}$
京冀	Jingji	10	0.010 2~0.583 7	$(0.1647 \pm 0.1597)\text{b}$
陕西	Shaanxi	8	0.023 1~0.413 8	$(0.1597 \pm 0.1116)\text{b}$
总计	Total	88	0.010 2~0.766 8	0.2243 ± 0.1796

2.2 2019 年和 2000 年以前采集的小麦白粉病菌群体对氟唑菌酰胺的敏感性比较

结果如表 2 所示,采集自 2019 年的 88 个菌株的 EC_{50} 范围为 $0.0102 \sim 0.7668 \mu\text{g/mL}$,平均 EC_{50} 为 $(0.2243 \pm 0.1760) \mu\text{g/mL}$;采集自 2000 年以前的

22 个菌株的 EC_{50} 范围为 $0.0521 \sim 0.8824 \mu\text{g/mL}$,平均 EC_{50} 为 $(0.3563 \pm 0.2796) \mu\text{g/mL}$,通过秩和检验分析,不同年份采集的小麦白粉病菌群体对氟唑菌酰胺的敏感性无显著性差异($P = 0.065$)。

表 2 不同年份小麦白粉菌群体对氟唑菌酰胺的敏感性

采集年份 Collection time		菌株数/株 Number of isolates	$EC_{50}/(\mu\text{g/mL})$	
			EC_{50} 范围	EC_{50} 平均值
			Range of EC_{50} value	Mean of EC_{50} value
2019		88	0.010 2~0.766 8	$(0.2243 \pm 0.1760)\text{a}$
2000 年前	Before 2000	22	0.052 1~0.882 4	$(0.3563 \pm 0.2796)\text{a}$
总计	Total	110	0.010 2~0.882 4	0.2507 ± 0.2103

2.3 供试小麦白粉病菌菌株对氟唑菌酰胺的敏感性频率分布

由于 2019 年的 88 个菌株和 2000 年以前采集的 22 个菌株对氟唑菌酰胺的敏感性之间没有显著性差异,因此将所有供试菌株的敏感性合并分析,其 EC_{50} 范围在 $0.0102 \sim 0.8824 \mu\text{g/mL}$,平均

EC_{50} 为 $(0.2507 \pm 0.2103) \mu\text{g/mL}$ (表 2),供试菌株的敏感性分布呈单峰曲线(图 1)。由于氟唑菌酰胺于 2019 年 12 月在我国登记,本研究中的供试菌株均为未施用过氟唑菌酰胺的菌株,敏感性可以作为氟唑菌酰胺的敏感性基线,即 $(0.2507 \pm 0.2103) \mu\text{g/mL}$ 。

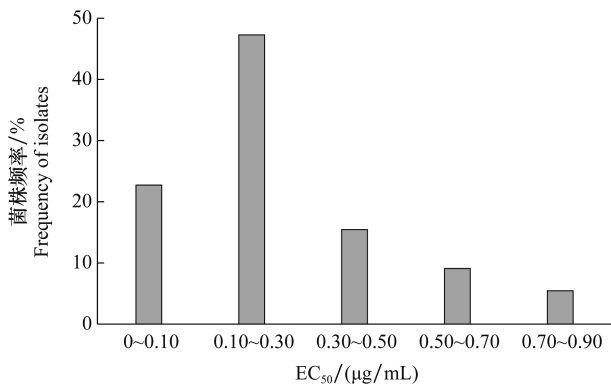


图1 供试小麦白粉病菌群体对氟唑菌酰胺的敏感性频率分布

Fig. 1 Frequency distribution of EC₅₀ value of 110 *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* isolates to pydiflumetofen

3 结论与讨论

琥珀酸脱氢酶抑制剂(SDHIs)是一类能够抑制病原菌呼吸链上琥珀酸到泛醌的电子传递,阻断其能量代谢,进而抑制病菌生长的化合物^[3,6]。氟唑菌酰胺(pydiflumetofen)是先正达公司研发的首个苯基-乙基-吡唑-芳酰胺类 SDHI 类杀菌剂^[2],具有高效、低毒、内吸和安全等优点,且杀菌谱广,对多种植物病原菌具有很好的抑制活性,可用于谷物、马铃薯、蔬菜和特种作物等,防治包括赤霉病、早疫病、白粉病、菌核病、褐斑病、叶斑病等在内的多种病害^[2-3,7]。目前在我国已经在小麦赤霉病、油菜菌核病、马铃薯早疫病、番茄灰霉病、西瓜白粉病、黄瓜白粉病等多种作物的多种病害上都有登记^[5],且其登记范围还在继续增加。但是目前关于氟唑菌酰胺防治白粉病的研究报道较少,有研究表明,在田间单次施用 200 g/L 氟唑菌酰胺悬浮剂和 275 g/L 氟唑菌酰胺·丙环唑悬浮乳剂,对小麦白粉病有 90%左右的防治效果^[8]。本研究结果明确了氟唑菌酰胺对我国小麦白粉病菌的平均 EC₅₀ 为(0.250 7 ± 0.210 3) μg/mL,表明氟唑菌酰胺对小麦白粉病具有良好的抑菌活性,是潜在的小麦白粉病防治药剂。本研究中也发现,2019 年采集的湖北省的菌株的敏感性显著高于其他省份的菌株,由于供试的 14 个菌株中武汉市 5 个菌株,襄阳市 8 个菌株,而襄阳的菌株采集点较为集中,可能来源于相同的发病中心,遗传背景相似,敏感性较低的菌株相对集中,从而引起了这种差异。

由于 SDHIs 杀菌剂作用位点单一,使用广泛,抗性問題日益突出,已被杀菌剂抗性行动委员会归

为中等至高抗性风险杀菌剂,推荐田间使用时,一个生长季节只能使用一次该类药剂,以减缓病原菌抗药性产生^[4]。氟唑菌酰胺于 2019 年 12 月在我国登记用于防治小麦赤霉病,投入市场 2 年后,在 2021 年采集的赤霉病菌 *Fusarium graminearum* 中已经检测到抗药性菌株^[9]。而麦类白粉病是典型的气传多循环病害,病原菌是专性寄生真菌禾布氏白粉菌,病原菌的无性世代周期短,产孢量大,且分生孢子可通过气流远距离传播,同时生活史中具有有性阶段;基于以上生物学特性,FRAC 将小麦白粉病菌列为高抗性风险病原菌^[10]。不同作用机制的杀菌剂,包括甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂(quinone outside inhibitors, QoIs),甾醇脱甲基化抑制剂(sterol demethylation inhibitors, DMIs),胺类杀菌剂(amines)等几类杀菌剂,在使用 2~5 年后,小麦白粉病菌都对其产生了抗药性,进一步证实了小麦白粉病菌的高抗性风险^[11]。

由于麦类白粉病菌是高抗性风险病原菌,氟唑菌酰胺是中到高抗性风险杀菌剂,因此,氟唑菌酰胺在麦田使用时,也亟须监测白粉病菌对氟唑菌酰胺的抗药性产生及发展情况。本文明确了白粉病菌对氟唑菌酰胺的敏感基线,研究结果为此药剂的抗药性监测奠定了基础。

参考文献

- [1] 黄冲,姜玉英,李春广. 1978 年—2018 年我国小麦主要病虫害发生危害及演变分析[J]. 植物保护, 2020, 46 (6): 186–193.
- [2] 柏亚罗,顾林玲. 2017 年全球登记或上市的农药新产品[J]. 现代农药, 2018, 17(1): 8–15.
- [3] 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, 2010, 29(7): 643–651.
- [4] FRAC. FRAC code list 2022: Fungal control agents sorted by cross-resistance pattern and mode of action (including coding for FRAC groups on product labels) [EB/OL]. [2023–02–13]. <http://www.frac.info>.
- [5] 农业农村部农药检定所. 中国农药信息网[EB/OL]. [2023–02–13]. <http://www.chinapesticide.org.cn/>.
- [6] 张一宾. 琥珀酸脱氢酶抑制剂类杀菌剂 isofetamid 的开发[J]. 世界农药, 2014, 36(3): 30–32.
- [7] BREUNIG M, CHILVERS M I. Baseline sensitivity of *Fusarium graminearum* from wheat, corn, dry bean and soybean to pydiflumetofen in Michigan, USA [J/OL]. Crop Protection, 2021, 140: 105419. DOI: 10.1016/j.cropro.2020.105419.
- [8] 朱昌稳,汪明艾,黄正银. 氟唑菌酰胺防治小麦赤霉病的效果及使用技术[J]. 中国植保导刊, 2021, 41(12): 47–50.

3 结论与讨论

油菜田杂草发生种类多、危害重,湖北地区油菜田主要优势杂草种群有看麦娘 *Alopecurus aequalis*、婆婆纳 *Veronica polita*、苘草 *Beckmannia syzigachne*、猪殃殃 *Galium spurium* 等^[11]。生态控草是指采取各种农业技术措施来控制杂草的发生,创造不利于杂草生长而有利于作物生长的环境。采用农艺措施控草不会对环境造成污染,是杂草可持续治理中替代化学除草的重要措施,并且农艺措施的选择压力较化学除草低,不会诱导杂草抗药性的产生,它们一般通过提供多样化的选择压力来限制杂草的发生危害^[12]。增加作物种植密度也能通过影响杂草的生存环境而限制杂草的发生危害,从而促进油菜产量的提高。本文综合分析了土壤消毒联合种植密度对杂草发生量和作物产量的影响,结果表明棉隆土壤消毒后结合不同油菜种植密度对杂草表现出优异的防控效果。棉隆按技术规程使用对油菜作物安全,无药害。土壤消毒结合种植密度处理对野燕麦和苦苣菜均有良好防效,总鲜重防效达到 89.8%~100.0%。土壤杂草种子库是农田杂草发生危害的主要根源,控制土壤杂草种子库规模是杂草综合治理策略的重要组成部分^[13],通过种植前的土壤消毒处理也是最直接有效降低土壤杂草种子库的方法之一。

分析田间 2 种主要杂草对养分和水分的消耗,结果表明土壤消毒结合种植密度处理显著降低了杂草对田间氮、磷、钾和水分的消耗,有效改善了田间的水肥和光照条件。土壤消毒联合种植密度不同处理的油菜籽产量达到 3 155.0~4 920.5 kg/hm²,增产效果显著,产量较对照增加 13.3%~76.8%,每公顷增收 1 857.3~10 684.8 元。增加作物种植密度可导致作物与杂草之间的种间竞争加剧、杂草的生存资源减少,种间竞争是密度控草的主要原因。但是如果种植密度过大,将会增加成本投入,同时会导致油菜减产,因此适度增加种植密度能保证对杂

草防效,同时也能保证产量。通过本文研究表明采用土壤消毒结合种植密度控制油菜田杂草具有一定的应用前景,推荐油菜种植密度为 8~10 株/m²。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴-2019[M]. 北京: 中国统计出版社, 2019.
- [2] 王秋霞, 颜冬冬, 王献礼, 等. 土壤熏蒸剂研究进展[J]. 植物保护学报, 2017, 44(4): 529-543.
- [3] MAO Liangang, JIANG Hongyun, WANG Qiuxia, et al. Efficacy of soil fumigation with dazomet for controlling ginger bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*) in China [J]. Crop Protection, 2017, 100: 111-116.
- [4] FU Chuenhsu, HU Bauyuan, CHANG Tuntschu, et al. Evaluation of dazomet as fumigant for the control of brown root rot disease [J]. Pest Management Science, 2012, 68(7): 959-962.
- [5] GILREATH J, SANTOS B M. Efficacy of methyl bromide alternatives on purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) control in tomato and pepper [J]. Weed Technology, 2004, 18(2): 341-345.
- [6] MAO Liangang, YAN Dongdong, WANG Qiuxia, et al. Evaluation of the combination of dimethyl disulfide and dazomet as an efficient methyl bromide alternative for cucumber production in China [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(21): 4864-4869.
- [7] 李应金, 秦西云. 土壤消毒剂防除烤烟苗床杂草试验[J]. 植物保护, 2007, 33(1): 131-133.
- [8] 靳晓山, 解林昊, 王雪, 等. 98%棉隆微粒剂对人参田杂草的防除效果及安全性[J]. 农药, 2018, 57(9): 682-686.
- [9] 尤民生, 刘雨芳, 侯有明. 农田生物多样性与害虫综合治理[J]. 生态学报, 2004, 24(1): 117-122.
- [10] 朱文达, 魏守辉, 张朝贤. 农作措施对油菜田杂草的生态控制作用[J]. 华中农业大学学报, 2005, 24(2): 125-128.
- [11] 朱文达, 魏守辉, 张朝贤. 湖北省油菜田杂草种类组成及群落特征[J]. 中国油料作物学报, 2008, 30(1): 100-105.
- [12] BUHLER D D, HARTZLER R G, FORCELLA F. Implications of weed seedbank dynamics to weed management [J]. Weed Science, 1997, 45(3): 329-336.
- [13] MURPHY S D, CLEMENTS D R, BELAOUSSOFF S, et al. Promotion of weed species diversity and reduction of weed seedbanks with conservation tillage and crop rotation [J]. Weed Science, 2006, 54(1): 69-77.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 290 页)

- [9] SHAO Wenyong, WANG Jingrui, WANG Huiyuan, et al. *Fusarium graminearum* FgSdhC1 point mutation A78V confers resistance to the succinate dehydrogenase inhibitor pydiflumetofen [J]. Pest Management Science, 2022, 78(5): 1780-1788.
- [10] KEITH J B, HOLLOMON D W. Fungicide resistance: the assessment of risk [M]. Fungicide Resistance Action Commit-

tee. Bristol, United Kingdom: Aimplint, 2007: 28-31.

- [11] VIELBA-FERNÁNDEZ A, POLONIO Á, RUIZ-JIMÉNEZ L, et al. Fungicide resistance in powdery mildew fungi [J/OL]. Microorganisms, 2020, 8(9): 1431. DOI: 10.3390/microorganisms8091431.

(责任编辑: 田 喆)