

· 研究论文 ·

新型杀菌剂苯噻菌酯的抑菌活性及生物学特性

徐从英, 侯毅平, 王建新, 陈长军, 周明国*

(南京农业大学 植物保护学院, 南京 210095)

摘要:报道了新型 QoI 类杀菌剂苯噻菌酯(试验代号 Y5247)的生物学特性。在含 50 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 水杨脞酸(SHAM)旁路氧化专化性抑制剂的 AEA 培养基上,该杀菌剂抑制水稻纹枯病菌、稻瘟病菌、油菜菌核病菌及草莓灰霉病菌菌丝生长的有效中浓度(EC_{50})分别为 0.004、0.009、0.016 和 0.023 $\mu\text{g}/\text{mL}$;其抑制辣椒炭疽病菌和草莓灰霉病菌孢子萌发的 EC_{50} 值分别为 0.448 和 0.019 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。苯噻菌酯对防治小麦白粉病具有保护和治疗作用, EC_{50} 值分别为 0.991 和 1.823 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。其在小麦叶片上内吸输导性差,但具有一定的渗透性、良好的粘着性、耐雨水冲刷和较长的持效期。用有效成分为 25 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的苯噻菌酯药液喷雾处理的麦苗,14 d 后接种小麦白粉病菌,其防效仍达 72.48%。

关键词:苯噻菌酯;小麦白粉病菌;内吸输导性;持效期

DOI:10.3969/j.issn.1008-7303.2014.06.06

中图分类号:S482.2 文献标志码:A 文章编号:1008-7303(2014)06-0667-06

Fungicidal activity and biological characteristics of benzothiofostrobin, a novel QoI fungicide

XU Congying, HOU Yiping, WANG Jianxin,

CHEN Changjun, ZHOU Mingguo*

(College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Fungicidal activity and biological characteristics of a novel QoI fungicide benzothiofostrobin (Experiment code Y5247) were presented. The EC_{50} values of the benzothiofostrobin inhibiting the mycelial growth of plant pathogen *Rhizoctonia solani*, *Magnaporthe grisea*, *Sclerotinia sclerotiorum* and *Botrytis cinerea*, on the AEA medium containing 50 $\mu\text{g}/\text{mL}$ salicylhydroxamic acid (SHAM), were 0.004, 0.009, 0.016 and 0.023 $\mu\text{g}/\text{mL}$, respectively. The EC_{50} values of benzothiofostrobin inhibiting spore germination of *Colletotrichum capsici* and *Botrytis cinerea* were 0.448 and 0.019 $\mu\text{g}/\text{mL}$, respectively. The protective and curative activities against powdery mildew caused by *Blumeria graminis* were 0.991 and 1.823 $\mu\text{g}/\text{mL}$, respectively. Benzothiofostrobin showed no systemic translocation but penetrative activity on the wheat leaf. Benzothiofostrobin appeared good bio-properties of rain-washing tolerance, adhesion and long persistence against *Blumeria graminis* on wheat leaf. Efficacy of the chemical against wheat powdery mildew still reached 72.48% when the pathogen was inoculated 14 days after the wheat seedling was sprayed with 25 $\mu\text{g}/\text{mL}$ benzothiofostrobin.

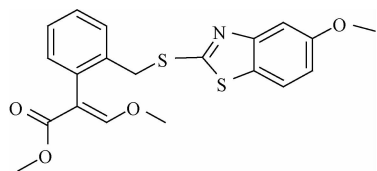
收稿日期:2014-06-19;修回日期:2014-08-16.

作者简介:徐从英,女,硕士研究生, E-mail:2012102137@njau.edu.cn; *周明国,通信作者(Author for correspondence),男,教授,博士生导师,主要从事杀菌剂药理学及病害防控研究, E-mail:mgzhou@njau.edu.cn

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(201303023).

Key words: benzothioestrobin; *Blumeria graminis*; systemic translocation; persistence

苯噻菌酯(benzothioestrobin), 试验代号 Y5247, 化学名称为(*E*)-2-[2-(5-甲氧基苯并噻唑-2-硫甲基)苯基]-3-甲氧基丙烯酸甲酯(结构见 Scheme 1), 是由华中师范大学杨光富课题组成功研发的一种新型 QoI 类杀菌剂, 目前正在申请我国农药登记。QoI 类杀菌剂是一类可阻止病原菌细胞色素 b 和 c1 之间的电子传递、干扰其呼吸作用和 ATP 合成的化合物^[1]。前期研究表明, 在室内条件下苯噻菌酯对黄瓜霜霉病菌、黄瓜白粉病菌和草莓白粉病菌具有强烈的抑菌活性, 在田间也表现出良好的防治效果^[2-3]。本研究进一步报道该化合物对 9 种重要植物病原菌的毒力及其对小麦白粉病的保护与治疗作用, 同时揭示其在小麦植株上的内吸与输导特性、耐雨淋能力和持效期等生物学特性, 旨在为苯噻菌酯安全、高效地使用提供科学依据。



Scheme 1

1 材料与方法

1.1 菌株、药剂及培养基

试验用野生敏感型的植物病原菌包括小麦赤霉病菌 *Fusarium graminearum*、水稻纹枯病菌 *Rhizoctonia solani*、小麦白粉病菌 *Blumeria graminis*、油菜菌核病菌 *Sclerotinia sclerotiorum*、辣椒疫霉病菌 *Phytophthora capsici*、稻瘟病菌 *Pyricularia oryzae*、番茄早疫病菌 *Alternaria solani*、辣椒炭疽菌 *Colletotrichum capsici* 和草莓灰霉病菌 *Botrytis cinerea*, 均由南京农业大学杀菌剂实验室分离、鉴定和保存。

97% 苯噻菌酯(benzothioestrobin)原药由华中师范大学提供; 对照药剂 93% 噻菌酯(azoxystrobin)原药由先正达公司提供。供试药剂用甲醇配制成 1.0×10^4 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的母液后稀释使用。99% 水杨脲酸(salicylhydroxamic acid, SHAM), 由美国 Acros Organics 公司生产, 用甲醇配制成 5.0×10^4 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的母液后稀释使用。

试验用培养基 AEA 的组成为: 酵母 5 g, 甘油 20 mL, MgSO_4 0.25 g, NaNO_3 6 g, KCl 0.5 g,

KH_2PO_4 1.5 g, 琼脂粉 20 g, 用去离子水定容至 1 000 mL, pH 约为 6.0; PDA 培养基、利马豆培养基及 2% WA 培养基按文献 [4-5] 方法配制。

1.2 苯噻菌酯对植物病原菌的毒力测定

采用菌丝生长速率法^[6]测定苯噻菌酯对 8 种植物病原菌菌丝生长的抑制作用。根据预备试验设计对不同病原菌毒力测定用的药剂系列浓度: 0、0.001、0.004、0.016、0.064、0.256 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (水稻纹枯病菌和稻瘟病菌); 0、0.015 6、0.031 3、0.062 5、0.125、0.25、0.5 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (油菜菌核病菌); 0、0.003 2、0.016、0.08、0.4、2、4 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (草莓灰霉病菌); 0、0.04、0.2、1、5、25 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (辣椒疫霉病菌); 0、0.16、0.8、4、20、100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (小麦赤霉病菌和番茄早疫病菌); 0、0.08、0.4、2、10、50 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (辣椒炭疽病菌)。在预培养的病原菌菌落边缘打取直径为 5 mm 的菌碟, 分别接种于含苯噻菌酯的 AEA 或含有 50 $\mu\text{g}/\text{mL}$ SHAM 的 AEA 平板中央, 每处理重复 3 皿, 试验重复 2 次。于 25 $^\circ\text{C}$ 培养 2 ~ 14 d 后计算菌落生长抑制率, 用 DPS 软件处理数据, 建立药剂质量浓度对数 (x) 与菌丝生长抑制机率值 (y) 之间的毒力回归方程 $y = a + bx$, 计算相关系数 (r) 及有效抑制中浓度 (EC_{50})。

采用孢子萌发法^[7]测定苯噻菌酯对辣椒炭疽病菌和草莓灰霉病菌孢子萌发的影响。将供试病原菌的新鲜菌碟分别接种于 AEA 平板上, 各 4 个重复, 分别于 25 $^\circ\text{C}$ 下黑暗培养 12 和 10 d, 用无菌水洗下孢子, 过滤并调节孢子浓度至 1×10^6 个/mL。将 50 μL 孢子悬浮液涂于含系列浓度苯噻菌酯的 2% WA 平板上。辣椒炭疽病菌和草莓灰霉病菌药剂处理质量浓度分别为: 0、0.025、0.05、0.1、0.2、0.4、0.8 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 和 0、0.006 3、0.012 5、0.025、0.05、0.1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。于 25 $^\circ\text{C}$ 培养 6 ~ 8 h 后, 显微镜观察孢子萌发情况, 每个处理重复 3 次, 试验重复 2 次。计算孢子萌发抑制率, 运用 DPS 软件处理数据, 计算药剂的毒力回归方程 $y = a + bx$ 及 EC_{50} 值。

1.3 苯噻菌酯对小麦白粉病菌的毒力测定

采用活体植株法^[8]。将苯噻菌酯母液用含质量分数为 0.1% 吐温-80 的蒸馏水稀释成 0、0.078、0.313、1.25、5 和 20 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的药液, 喷雾处理二叶一心期小麦苗(豫麦 49), 直至液滴即将流失为止, 每浓度处理 3 钵, 每钵 12 株, 试验重复 2 次。喷雾处理 24 h 后用沉降法接种小麦白粉病菌新生分生

孢子(接种前晚用自来水冲洗的病叶在培养箱中产生的孢子),于 20 ℃、16 h/d 光照下培养 7 d,根据病情指数分级标准^[9]调查病情,计算防治效果。将防治效果转换成机率值,药剂质量浓度转换成其对数值,应用 DPS 软件处理数据,计算毒力回归方程 $y = a + bx$ 、 r 及 EC_{50} 值。以下有关小麦白粉病试验的接种方法和计算方法均用该方法。

1.4 苯噻菌酯对小麦白粉病的保护及治疗作用测定

采用活体植株法^[8]。于小麦苗二叶一心期进行喷雾处理。苯噻菌酯的质量浓度分别为 0、0.078、0.313、1.25、5 和 20 $\mu\text{g}/\text{mL}$,每处理 3 个重复,试验重复 2 次。保护作用测定采用喷施药剂 24 h 后接种小麦白粉病菌;治疗作用测定则在接种病菌 24 h 后进行喷施药剂处理。

1.5 苯噻菌酯在小麦植株上的内吸输导特性测定

采用生物测定方法测定小麦叶片、穗颈和根系对苯噻菌酯的吸收和输导性。选取四叶期小麦中部两片叶,在叶片中部 2 cm 叶段表面用毛刷涂布质量浓度分别为 0、50、100 和 200 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的苯噻菌酯药液,每处理重复 20 片叶;或在小麦扬花期的穗下 3 cm 处用毛刷分别涂布 0、50、100 和 200 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的苯噻菌酯药液,涂药长度为 2 cm,每处理重复 20 株;或用 200 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 苯噻菌酯药液 20 mL 浇灌直径为 8 cm 的盆栽四叶期小麦苗,每处理重复 3 钵。分别以清水及嘧菌酯为空白及药剂对照。于施药 24 h 后接种小麦白粉病菌,培养 7 d 后调查叶片或穗部发病情况,计算防治效果。试验重复 2 次。

1.6 苯噻菌酯在小麦上的耐雨水冲刷性测定

用 25 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的苯噻菌酯和对照药剂嘧菌酯药

液喷雾处理二叶一心期的小麦苗,以含质量分数 0.1% 吐温-80 的蒸馏水处理为对照,分别于处理后 0.5、1、2、4、6、8、12 和 24 h 用喷壶模拟雨水冲刷麦苗 20 min^[10],然后接种小麦白粉病菌孢子,每处理 3 个重复,试验重复 2 次,培养 7 d 后调查防治效果。

1.7 苯噻菌酯在小麦植株上的持效性测定

用 25 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的苯噻菌酯和嘧菌酯药液喷雾处理二叶一心期小麦苗,以含质量分数 0.1% 吐温-80 的蒸馏水处理为对照,分别于处理后 3、7、10 和 14 d 接种小麦白粉病菌孢子,每处理 3 个重复,试验重复 2 次,培养 7 d 后调查防治效果。

1.8 数据处理

试验数据采用 DPS v7.05 软件进行统计分析。并通过邓肯氏新复极差法和 Student t 检验进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 苯噻菌酯对 8 种植物病原菌的毒力

苯噻菌酯对供试 8 种植物病原菌的菌丝生长均有抑制活性,旁路氧化抑制剂 SHAM 对苯噻菌酯的抑菌活性具有显著增效作用。从表 1 可以看出,苯噻菌酯对不同病原菌的抑制活性存在极大差异。在含有 SHAM 的 AEA 培养基上,苯噻菌酯对野生型水稻纹枯病菌、水稻稻瘟病菌、油菜菌核病菌、草莓灰霉病菌和辣椒疫霉病菌的菌丝生长表现出强烈的抑制作用, EC_{50} 值在 0.004 ~ 1.147 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 之间,而对小麦赤霉病菌、辣椒炭疽病菌和番茄早疫病菌的菌丝生长抑制活性则较低, EC_{50} 值在 4.338 ~ 14.081 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 之间。

表 1 苯噻菌酯抑制植物病原菌菌丝生长的毒力

Table 1 Toxicity of benzothiostrubin against mycelial growth of plant pathogens

病原菌 Pathogen	不含 SHAM 培养基上的 EC_{50}	含 SHAM 培养基上的 EC_{50}
	$EC_{50} \pm SD$ on medium	$EC_{50} \pm SD$ on medium
	SHAM-free/($\mu\text{g}/\text{mL}$)	containing SHAM/($\mu\text{g}/\text{mL}$)
水稻纹枯病菌 <i>Rhizoctonia solani</i>	0.025 ± 0.010	0.004 ± 0.004
稻瘟病菌 <i>Pyricularia oryzae</i>	0.047 ± 0.034	0.009 ± 0.010
油菜菌核病菌 <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	0.442 ± 0.335	0.016 ± 0.003
草莓灰霉病菌 <i>Botrytis cinerea</i>	40.660 ± 10.993	0.023 ± 0.010
辣椒疫霉病菌 <i>Phytophthora capsici</i>	20.580 ± 4.196	1.147 ± 0.720
小麦赤霉病菌 <i>Fusarium graminearum</i>	47.823 ± 1.481	4.338 ± 0.454
辣椒炭疽病菌 <i>Colletotrichum capsici</i>	30.648 ± 11.600	5.325 ± 0.464
番茄早疫病菌 <i>Alternaria solani</i>	35.379 ± 18.291	14.081 ± 4.664

苯噻菌酯对供试病原菌孢子萌发的抑制活性高于对菌丝生长的抑制活性。其中抑制辣椒炭疽病菌孢子萌发的 EC_{50} 值只有 $0.439 \mu\text{g/mL}$, 活性

是其抑制菌丝生长活性的 12 倍; 对草莓灰霉病菌孢子萌发的抑制活性也高于抑制菌丝生长的 20% 以上(表 2)。

表 2 苯噻菌酯对病原菌孢子萌发的抑制活性

Table 2 Activity of benzothiostrubin inhibiting spore germination of pathogens

病原菌 Pathogen	毒力回归方程 Regression equation	相关系数(r) Correlation coefficient	$EC_{50} \pm SD/(\mu\text{g/mL})$
辣椒炭疽病菌 <i>Colletotrichum capsici</i>	$y = 5.411 + 1.148x$	0.992	0.439 ± 0.005
草莓灰霉病菌 <i>Botrytis cinerea</i>	$y = 11.247 + 3.614x$	0.974	0.019 ± 0.002

2.2 苯噻菌酯对小麦白粉病菌的抑制活性

盆钵试验结果表明: 苯噻菌酯对小麦白粉病菌有很好的抑制活性, 毒力回归方程为 $y = 4.891 + 1.090x$, 相关系数 0.981, EC_{50} 值为 $(1.016 \pm 0.224) \mu\text{g/mL}$ 。当苯噻菌酯的质量浓度为

$20 \mu\text{g/mL}$ 时, 对白粉病的防效达 92.70%。

2.3 苯噻菌酯防治小麦白粉病的保护和治疗作用

苯噻菌酯防治小麦白粉病有较好的保护作用和治疗作用, EC_{50} 值分别为 0.991 和 $1.823 \mu\text{g/mL}$, 保护作用显著好于治疗作用(表 3)。

表 3 苯噻菌酯防治小麦白粉病的保护作用和治疗作用

Table 3 Protective and curative activities of benzothiostrubin against *Blumeria graminis*

作用方式 Mode of action	毒力回归方程 Regression equation	相关系数(r) Correlation coefficient	$EC_{50} (\pm SD)/(\mu\text{g/mL})$
保护作用 Protective activity	$y = 5.012 + 0.884x$	0.954	0.991 ± 0.032
治疗作用 Curative activity	$y = 4.842 + 1.027x$	0.983	1.823 ± 0.562

2.4 苯噻菌酯在小麦植株上的内吸输导性

苯噻菌酯对小麦叶片涂药区白粉病的防效为 100% (表 4, 图 1), 对涂药区叶片上部及下部的防效较差, 对涂药叶片相邻的未处理叶片则无防治效

果; 穗颈部涂药的麦穗在接种 7 d 后全部发病; 根部浇灌施药对小麦地上部分没有防治效果。这些研究结果表明, 苯噻菌酯在小麦体内的输导性较差, 且不能被小麦根系吸收并输导。

表 4 苯噻菌酯在小麦植株上的内吸输导性

Table 4 Systemic translocation of benzothiostrubin in wheat

处理药剂 Fungicide	质量浓度 Concentration/ ($\mu\text{g/mL}$)	防治效果 Control efficacy/%					
		叶片涂药区 Treatment area on leaves	叶片涂药区上部 Terminal parts on the treated leaves	叶片涂药区下部 Stem base parts on the treated leaves	相邻未 涂药叶片 Untreated leaves	根部施药 Treatment on roots	穗颈部涂药 Treatment on stems
苯噻菌酯	50	100 a	4.77 ± 1.83 d	4.61 ± 1.81 d	0 a	—	0 d
benzothiostrubin	100	100 a	9.10 ± 0.001 cd	8.91 ± 0.13 cd	0 a	—	0 d
	200	100 a	17.63 ± 0.78 c	14.08 ± 0.89 bc	0 a	0 b	0 d
噻菌酯	50	100 a	72.93 ± 8.28 b	17.52 ± 1.82 ab	0 a	—	89.93 ± 0.57 c
azoxystrobin	100	100 a	85.13 ± 2.55 a	21.21 ± 5.04 ab	0 a	—	93.72 ± 1.20 b
	200	100 a	93.12 ± 0.91 a	24.90 ± 6.11 a	0 a	88.67 ± 2.03 a	96.36 ± 0.73 a

注: 根据邓肯氏新复极差法分析。同列数据中数字后带有相同字母表示无显著差异 ($P=0.05$); 反之则为显著差异。

Note: Numbers with the same letter in the same column are not significantly different according to Duncan's shortest significant ranges (SSR) test ($P=0.05$).



注: M 代表啞菌酯, B 代表苯噻菌酯, 50、100、200 代表药剂质量浓度(单位: $\mu\text{g}/\text{mL}$)。

Note: M represents azoxystrobin; B represents benzothiostrabin; 50, 100 and 200 represent concentrations (Unit: $\mu\text{g}/\text{mL}$).

图 1 苯噻菌酯在小麦叶片上的内吸输导性

Fig. 1 Systemic translocation of benzothiostrabin in the leaves of wheat

2.5 苯噻菌酯在小麦叶片上的耐雨水冲刷性

用 $25 \mu\text{g}/\text{mL}$ 的苯噻菌酯喷施处理叶片后 0.5 ~ 24 h 模拟雨水冲刷 20 min, 接种培养 7 d 后各处理都只有轻微的发病症状, 防治效果均在 86% 以上, 与对照药剂啞菌酯的防效相当(表 5), 说明苯噻菌酯在小麦叶片上具有很好的粘着性, 耐雨水冲刷。

2.6 苯噻菌酯在小麦植株上的持效性

用苯噻菌酯和啞菌酯处理麦苗后不同时间后接种小麦白粉病菌, 结果(表 6)表明, 苯噻菌酯防治小麦白粉病的持效性显著好于对照药剂啞菌酯。 $25 \mu\text{g}/\text{mL}$ 的苯噻菌酯处理 14 d 后接种, 其防治效果仍达 72.48%。

3 结论与讨论

本研究表明, 新型 QoI 类杀菌剂苯噻菌酯对不同植物病原菌具有不同的生物活性。离体条件下, 其对野生敏感型水稻纹枯病菌及稻瘟病菌、油菜菌核病菌、草莓灰霉病菌和辣椒疫霉病菌的菌丝生长表现出强烈的抑菌活性, 与金丽华等^[5]、张舒亚^[7]

表 5 苯噻菌酯耐雨水冲刷试验结果

Table 5 Rainwashing tolerance of benzothiostrabin

处理药剂 Fungicide	质量浓度 Concentration/ ($\mu\text{g}/\text{mL}$)	防治效果 Control efficacy/%						
		0.5 h	1 h	2 h	4 h	8 h	12 h	24 h
苯噻菌酯 benzothiostrabin	25	86.13 \pm 6.54	88.89 \pm 6.43	92.44 \pm 6.39	94.11 \pm 4.21	95.69 \pm 3.51	98.07 \pm 1.01	98.97 \pm 0.42
啞菌酯 azoxystrobin	25	88.79 \pm 4.16	92.37 \pm 4.42	93.67 \pm 4.13	94.78 \pm 4.63	96.78 \pm 2.66	97.59 \pm 2.19	100

注: 根据 Student *t* 检验分析, 同列数据中数字带有 * 的表示差异显著 ($P < 0.05$), 反之为差异不显著。

Note: Number with an asterisk in the same column indicates a significant difference ($P < 0.05$) according to Student's *t*-test.

表 6 苯噻菌酯防治小麦白粉病的持效性

Table 6 Persistence of benzothiostrabin against *Blumeria graminis*

处理药剂 Fungicide	质量浓度 Concentration/ ($\mu\text{g}/\text{mL}$)	施药后不同时间接种的防治效果 Control efficacy with different inoculation times after treatment/%			
		3 d	7 d	10 d	14 d
苯噻菌酯 benzothiostrabin	25	100	96.91 \pm 0.48 *	88.05 \pm 0.81 *	72.48 \pm 0.54 *
啞菌酯 azoxystrobin	25	100	87.28 \pm 1.31	69.83 \pm 1.37	62.59 \pm 0.59

注: 根据 Student *t* 检验分析, 同列数据中数字带有 * 的表示差异显著 ($P < 0.05$), 反之为差异不显著。

Note: Number with an asterisk in the same column indicates a significant difference ($P < 0.05$) according to Student's *t*-test.

报道的啞菌酯对上述几类病原菌菌丝生长的抑制活性相比, 苯噻菌酯表现出了更高或类似的抑菌活性, 具有较好的应用前景。苯噻菌酯对病原菌孢子萌发的抑制活性显著高于对菌丝生长的抑制活性, 说明

该杀菌剂阻止病菌侵染的保护作用可能好于侵染后的治疗作用, 本研究中的盆栽试验结果也证实了该推测。值得指出的是, 苯噻菌酯对病原菌孢子萌发和菌丝生长的抑制活性的差异因病原菌而异。本研

究表明,苯噻菌酯对辣椒炭疽病菌菌丝生长的抑制活性较低,但对其孢子萌发的抑制活性很高,因此以其防治辣椒炭疽病时应该利用其保护作用,而不是治疗作用;但在防治小麦白粉病的试验中,苯噻菌酯却表现出了很好的保护作用和治疗作用。虽然,苯噻菌酯对草莓灰霉病菌的孢子萌发和菌丝生长均有良好抑制活性,但是在研究中发现,草莓灰霉病菌极易对苯噻菌酯产生高水平抗药性,因此用其防治灰霉病的应用价值有待进一步评估。

已有研究表明:QoI类杀菌剂嘧菌酯、吡唑醚菌酯等具有内吸性,可以预防和治疗多种植物病害^[7]。本研究通过在用苯噻菌酯处理的不同部位接种小麦白粉病菌,测定其对小麦白粉病的防效,结果证明苯噻菌酯不具有内吸性,说明该药剂也没有内吸治疗作用。然而,试验证明苯噻菌酯对表面寄生的小麦白粉病具有治疗作用。

苯噻菌酯处理小麦叶片后不同时间淋洗,尤其是0.5 h后与其他时间淋洗的防治效果均相似,进一步说明药剂无内吸性。苯噻菌酯处理小麦叶片后淋洗与未淋洗,防治白粉病的效果差异不大,说明该药剂在叶片上具有良好的粘着性,耐雨水冲刷。

用苯噻菌酯处理小麦叶片14 d后接种小麦白粉病菌,仍然对小麦白粉病有72%以上的防治效果,高于嘧菌酯10个百分点,表明苯噻菌酯在小麦叶片上不易分解或挥发,持效期长。嘧菌酯处理后的防治效果随病原菌接种时间的延后而逐渐下降,这可能是因为其内吸性在植株体内再分配,降低了处理部位的有效剂量而导致的。

与常用的其他类杀菌剂不存在交互抗性^[7]的QoI类杀菌剂,具有广谱高效的抗菌活性^[11]。本研究证明新型QoI类杀菌剂苯噻菌酯对多种重要植物病原菌也具有广谱的抗菌活性,在作物表面耐雨淋,粘着性好,持效期长,具有很好的预防植物病害的应用前景。

参考文献 (Reference):

[1] BARTLETT D W, CLOUGH J M, JEREMY R, *et al.* The strobilurin fungicides [J]. *Pest Manag Sci*, 2002, 58(7): 649-662.

[2] 王永康, 黄荣茂. Y5247 防治黄瓜白粉病的田间药效试验 [J]. *山地农业生物学报*, 2008, 27(2): 180-182.

WANG Yongkang, HUANG Rongmao. Plot effect test of Y5247 for controlling cucumber powdery mildew [J]. *J Mountain Agric Biol*, 2008, 27(2): 180-182. (in Chinese)

[3] 高丽丽, 胡德禹, 金义兰, 等. 新药剂 Y5247 对草莓白粉病菌

的药效试验 [J]. *山地农业生物学报*, 2008, 27(6): 550-553.

GAO Lili, HU Deyu, JIN Yilan, *et al.* Toxicities and field tests of a new fungicide Y5247 against *Sphaerotheca macularis* [J]. *J Mountain Agric Biol*, 2008, 27(6): 550-553. (in Chinese)

[4] 李恒奎. 甾烯菌酯新型杀菌剂对禾谷镰孢菌 (*Fusarium graminearum*) 的生物活性及其抗药性风险评估 [D]. 南京: 南京农业大学, 2006.

LI Hengkui. Biological activities of a novel fungicide JS399-19 to *Fusarium graminearum* and its resistance risk assessment [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2006. (in Chinese)

[5] 金丽华, 陈长军, 王建新, 等. 嘧菌酯及 SHAM 对 4 种植物病原真菌的活性和作用方式研究 [J]. *中国农业科学*, 2007, 40(10): 2206-2213.

JIN Lihua, CHEN Changjun, WANG Jianxin, *et al.* Activity of azoxystrobin and SHAM of four plant pathogens [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(10): 2206-2213. (in Chinese)

[6] 慕立义. 植物化学保护研究方法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 142.

MU Liyi. Method of Plant Chemical Protection [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1994: 142. (in Chinese)

[7] 张舒亚. 嘧菌酯对植物病原真菌的生物活性及抗药性研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2002.

ZHANG Shuya. Biological activities of azoxystrobin to plant pathogenic fungi and resistance [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2002. (in Chinese)

[8] 陈定花, 朱卫刚, 胡伟群, 等. 新型广谱杀菌剂苯噻菌酯 (ZJ0712) 生物活性 [J]. *农药*, 2006, 45(1): 18-21.

CHEN Dinghua, ZHU Weigang, HU Weiqun, *et al.* Biological activity of ZJ0712, a new strobilurin fungicide [J]. *Chinese J Pestic*, 2006, 45(1): 18-21. (in Chinese)

[9] 农业部农药检定所. 农药田间药效试验准则 (二) [M]. 北京: 中国标准出版社, 2000: 125-127.

Institute for the Control of Agrochemicals, Ministry of Agriculture. Pesticide-Guidelines for the field efficacy trials (II) [M]. Beijing: China Standard Press, 2000: 125-127. (in Chinese)

[10] 黄星, 周明国, 张传清, 等. 三环唑与咪鲜胺混剂抑制稻瘟病菌增效作用的研究 [J]. *上海交通大学学报*, 2005, 23(3): 294-298.

HUANG Xing, ZHOU Mingguo, ZHANG Chuanqing, *et al.* The joint synergistic inhibition of tricyclazole mixed prochloraz on *Mangnaporthe grisea* [J]. *J Shanghai Jiaotong Univ*, 2005, 23(3): 294-298. (in Chinese)

[11] 华乃震. Strobilurins 类杀菌剂品种、市场、剂型和应用 (I) [J]. *现代农药*, 2013(3): 6-11.

HUA Naizhen. Varieties, markets, formulations and applications of strobilurins fungicides (I) [J]. *Modern Agrochem*, 2013(3): 6-11. (in Chinese)

(责任编辑: 金淑惠)