

4 种杀菌剂及其复配剂对番茄灰霉病菌的毒力

刘圣明^{1*}, 海 飞², 车志平¹, 田月娥¹, 刘 欣¹

(1. 河南科技大学林学院植物保护系, 洛阳 471003; 2. 河南农业职业学院农业工程系, 郑州 451450)

摘要 采用菌丝生长速率法测定了咯菌腈、氟啶胺、啶酰菌胺和苯醚甲环唑 4 种杀菌剂及其两元复配剂对番茄灰霉病菌的毒力。结果显示, 咯菌腈、氟啶胺、啶酰菌胺和苯醚甲环唑对番茄灰霉病菌的有效抑制中浓度(EC_{50})分别为: 0.018 0、0.018 1、1.896 8 和 2.087 4 $\mu\text{g/mL}$ 。复配剂啶酰菌胺: 苯醚甲环唑 1:5、1:3 和 1:1, 咯菌腈: 苯醚甲环唑 1:5 增效作用最明显; 复配剂咯菌腈: 苯醚甲环唑 1:3, 咯菌腈: 氟啶胺 1:3, 啶酰菌胺: 咯菌腈 5:1, 啶酰菌胺: 苯醚甲环唑 3:1 具有增效作用, SR 值范围为 1.5~4.05, 其中以复配剂啶酰菌胺: 苯醚甲环唑 1:5 增效作用最好, 其 SR 值为 4.05; 其余不同配比的各组合复配剂具有相加作用, 其 SR 值范围为 0.5~1.46。表明咯菌腈、氟啶胺、啶酰菌胺和苯醚甲环唑 4 种不同作用机制的杀菌剂可以交替或复配使用, 以阻止或延缓灰霉病菌抗药性的进一步加剧, 为灰霉病的综合防控和抗药性治理提供理论依据。

关键词 灰霉病; 灰葡萄孢; 杀菌剂; 复配剂

中图分类号: S 436.412 **文献标识码:** B **DOI:** 10.3969/j.issn.0529-1542.2017.02.042

Toxicity of four fungicides and their mixtures to *Botrytis cinerea* from tomato

Liu Shengming¹, Hai Fei², Che Zhiping¹, Tian Yue'e¹, Liu Xin¹

(1. Department of Plant Protection, College of Forestry, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China; 2. Department of Agricultural Engineering, Henan Vocational College of Agriculture, Zhengzhou 451450, China)

Abstract Toxicities of fludioxonil, fluazinam, boscalid and difenoconazole, and their mixtures to *Botrytis cinerea* from tomato were detected by the method of mycelial growth assay *in vitro*. The results showed that the EC_{50} values for fludioxonil, fluazinam, boscalid and difenoconazole were 0.018 0 $\mu\text{g/mL}$, 0.018 1 $\mu\text{g/mL}$, 1.896 8 $\mu\text{g/mL}$, and 2.087 4 $\mu\text{g/mL}$, respectively. The mixtures of the fungicides boscalid and difenoconazole with the ratio of 1:5, 1:3, 1:1 and 3:1, fludioxonil and difenoconazole with the ratio of 1:5 and 1:3, fludioxonil and fluazinam with the ratio of 1:3, and boscalid and fludioxonil with the ratio of 5:1 demonstrated synergistic inhibition effect, with the synergy ratio ranged from 1.5 to 4.05. Among them, the mixture of boscalid and difenoconazole (1:5) had the strongest inhibition against *B. cinerea* with the synergy ratio of 4.05, indicating synergistic inhibition, while the synergy ratio of other mixtures was 0.5–1.46, indicating additive inhibition. The above results indicated that fludioxonil, fluazinam, boscalid and difenoconazole, and their mixtures can be used alternately in controlling the gray mold disease caused by *B. cinerea*.

Key words grey mould disease; *Botrytis cinerea*; fungicide; mixture

由灰葡萄孢 *Botrytis cinerea* Pers. ex Fr., 无性型 *Botryotinia fuckeliana* (de Bary) Whetz 引起的灰霉病是 200 多种作物, 包括番茄、黄瓜和茄子等蔬菜以及草莓和葡萄等水果上的重要病害, 能够造

成花、叶、茎和果实的腐烂, 影响作物的品质和产量, 尤其在温室和大棚等设施蔬菜上危害尤为严重^[1-5]。灰霉病在保护地番茄上严重发生时, 能造成番茄花、叶和果实软腐, 减产 50% 以上^[6-8]。由于缺少高抗

收稿日期: 2016-04-12 修订日期: 2016-04-25

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金(31301688); 公益性行业(农业)科研专项(201303023); 河南省自然科学基金(162300410079); 河南科技大学博士科研启动基金(09001589)

* 通信作者 E-mail: liushengmingzb@163.com

灰霉病的番茄品种,从 20 世纪 70 年代开始,生产上主要使用苯并咪唑类、二甲酰亚胺类、氨基甲酸酯类和苯胺基嘧啶类杀菌剂对灰霉病进行化学防治,但由于灰霉病菌具有较快的繁殖速率、较大的遗传变异性 and 较高的田间适合度等特点,极易对施用的杀菌剂产生抗药性,导致田间防治效果下降或丧失^[6-13]。随着苯并咪唑类、二甲酰亚胺类、氨基甲酸酯类和苯胺基嘧啶类杀菌剂施药次数和施药量的不断增加,我国江苏、河南、山东、北京和辽宁等地相继出现了单抗、双抗、甚至多抗类型的灰霉病菌菌株^[6-7, 10-12, 15-17]。2010 年 Sun 等^[12]研究发现江苏省南京市和淮阴市灰霉病菌对常用防治药剂苯并咪唑类杀菌剂多菌灵、二甲酰亚胺类杀菌剂腐霉利、氨基甲酸酯类杀菌剂乙霉威和苯胺基嘧啶类杀菌剂嘧霉胺的四抗菌株比例分别为 51.6%和 52.8%;山东省灰霉病菌对四类杀菌剂的四抗菌株比例为 100%。2016 年 Liu 等^[10]研究发现河南省灰霉病菌对四类杀菌剂的四抗菌株比例为 68.1%。先前的研究表明灰霉病菌对常用的苯并咪唑类、二甲酰亚胺类、氨基甲酸酯类和苯胺基嘧啶类防治药剂已经产生了较高比例的抗药性。为了阻止或延缓抗药性的进一步加剧,延长药剂的使用寿命,应科学选用合适的杀菌剂防治灰霉病。

采用不同作用机制的杀菌剂交替或复配使用,是阻止或延缓病原菌抗药性进一步加剧的主要策略。因此,本研究采用菌丝生长速率法,测定了咯菌腈、氟啶胺、啶酰菌胺和苯醚甲环唑 4 种不同作用机制的杀菌剂单剂及其两元复配剂对番茄灰霉病菌的毒力,对生产上综合防控灰霉病和科学合理地用药具有重要的指导意义。

1 材料与方法

1.1 供试菌株

供试菌株为实验室保存的经单孢分离的番茄灰霉病菌。

1.2 供试药剂

97.9%咯菌腈原药,先正达(中国)有限公司提供;97%氟啶胺原药,江苏优士化学有限公司提供;95.4%苯醚甲环唑原药,先正达(中国)有限公司提供,上述 3 种药剂均预溶于甲醇,配制成 10⁴ μg/mL 母液。96.2%啶酰菌胺原药,巴斯夫(中国)有限公司提供,预溶于丙酮,配制成 10⁴ μg/mL 的母液。

1.3 供试培养基

PDA 培养基:马铃薯 200 g,葡萄糖 20 g,琼脂 15~20 g,加蒸馏水至 1 000 mL。

1.4 4 种杀菌剂毒力测定

采用菌丝生长速率法测定咯菌腈、氟啶胺、啶酰菌胺和苯醚甲环唑对番茄灰霉病菌的离体毒力。将咯菌腈、氟啶胺、啶酰菌胺和苯醚甲环唑母液稀释为系列浓度,按照一定的比例分别加入到灭菌热熔冷却至 50℃左右的 PDA 培养基中,制成系列浓度(表 1)的含药 PDA 平板,以不加药剂为对照。用直径为 5 mm 的打孔器,在 25℃黑暗条件下培养 3 d 的灰霉病菌菌落边缘打孔制备菌饼,然后用接种针挑取菌饼分别接种于含咯菌腈、氟啶胺、啶酰菌胺或苯醚甲环唑系列浓度的 PDA 平板上。将各平板置于恒温培养箱内,25℃黑暗条件下培养 3 d,测量并记录菌落直径。各处理 3 次重复,试验重复 3 次。根据灰霉病菌在不同浓度药剂平板上的线性生长速率,计算出各浓度药剂对病原菌的生长抑制率,用 DPS 统计软件进行处理,求出各药剂的 EC₅₀。

表 1 4 种杀菌剂毒力测定浓度
Table 1 Concentrations of four fungicides used for determination of their toxicity to *Botrytis cinerea*

杀菌剂 Fungicide	药剂浓度/μg·mL ⁻¹ Fungicide concentration
咯菌腈 Fludioxonil	0, 0.003 125, 0.006 25, 0.012 5, 0.025, 0.1, 0.4
氟啶胺 Fluazinam	0, 0.031 25, 0.062 5, 0.125, 0.25, 0.5, 1
啶酰菌胺 Boscalid	0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2
苯醚甲环唑 Difenoconazole	0, 0.312 5, 0.625, 1.25, 2.5, 5, 10

1.5 复配剂毒力测定

采用菌丝生长速率法测定复配剂对番茄灰霉病菌的离体毒力。将咯菌腈、氟啶胺、啶酰菌胺和苯醚甲环唑 4 种药剂按照表 2 所示的比例分别进行两元复配后,分别加入到灭菌热熔冷却至 50℃左右的 PDA 培养基中,制成含复配剂系列浓度(表 2)的 PDA 平板。按照 1.4 测定和计算方法,求出各复配药剂的 EC₅₀。利用以下公式求出 SR 值^[18],当 SR 值大于等于 1.5 时为增效作用,在 0.5 和 1.5 之间为相加作用,小于 0.5 为拮抗作用^[19]。

$$EC_{50}(\text{Exp}) = \frac{a+b}{\frac{a}{EC_{50}(A)} + \frac{b}{EC_{50}(B)}}$$

$$SR=\frac{EC_{50} \text{ (Exp)}}{EC_{50} \text{ (Obs)}}$$

的比例;EC₅₀ (Exp) 为理论抑制中浓度,EC₅₀ (Obs) 为实际测量抑制中浓度。

A,B 为复配的药剂;a,b 为药剂在配方中所占

表 2 复配剂不同比例浓度设计

Table 2 Concentrations of fungicides mixtures used for determination of their toxicity to *Botrytis cinerea*

复配剂 Mixture	药剂比例 Fungicide proportion	药剂浓度/μg·mL ⁻¹ Fungicide concentration
咯菌腈·氟啶胺 fludioxonil·fluazinam	5:1	0, 0.003 125, 0.006 25, 0.012 5, 0.025, 0.05, 0.1
	3:1	0, 0.003 125, 0.006 25, 0.012 5, 0.025, 0.05, 0.1
	1:1	0, 0.003 125, 0.006 25, 0.012 5, 0.025, 0.05, 0.1
	1:3	0, 0.003 125, 0.006 25, 0.012 5, 0.025, 0.05, 0.1
	1:5	0, 0.003 125, 0.006 25, 0.012 5, 0.025, 0.05, 0.1
咯菌腈·苯醚甲环唑 fludioxonil·difenoconazole	5:1	0, 0.003 125, 0.006 25, 0.012 5, 0.025, 0.05, 0.1
	3:1	0, 0.003 125, 0.006 25, 0.012 5, 0.025, 0.05, 0.1
	1:1	0, 0.005, 0.01, 0.02, 0.04, 0.08, 0.16
	1:3	0, 0.012 5, 0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4
	1:5	0, 0.012 5, 0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4
氟啶胺·苯醚甲环唑 fluazinam·difenoconazole	5:1	0, 0.003 125, 0.006 25, 0.012 5, 0.025, 0.05, 0.1
	3:1	0, 0.003 125, 0.006 25, 0.012 5, 0.025, 0.05, 0.1
	1:1	0, 0.005, 0.01, 0.02, 0.04, 0.08, 0.16
	1:3	0, 0.012 5, 0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4
	1:5	0, 0.012 5, 0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4
啶酰菌胺·苯醚甲环唑 boscalid·difenoconazole	5:1	0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2
	3:1	0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2
	1:1	0, 0.156 25, 0.312 5, 0.625, 1.25, 2.5, 5
	1:3	0, 0.312 5, 0.625, 1.25, 2.5, 5, 10
	1:5	0, 0.312 5, 0.625, 1.25, 2.5, 5, 10
啶酰菌胺·咯菌腈 boscalid·fludioxonil	5:1	0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, —
	3:1	0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, —
	1:1	0, 0.031 25, 0.062 5, 0.125, 0.25, 0.5, —
	1:3	0, 0.003 125, 0.006 25, 0.012 5, 0.025, 0.05, 0.1
	1:5	0, 0.003 125, 0.006 25, 0.012 5, 0.025, 0.05, 0.1
啶酰菌胺·氟啶胺 boscalid·fluazinam	5:1	0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, —
	3:1	0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, —
	1:1	0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, —
	1:3	0, 0.003 125, 0.006 25, 0.012 5, 0.025, 0.05, 0.1
	1:5	0, 0.003 125, 0.006 25, 0.012 5, 0.025, 0.05, 0.1

2 结果与分析

2.1 4 种杀菌剂对番茄灰霉病菌的毒力

采用菌丝生长速率法测定了咯菌腈、氟啶胺、啶酰菌胺和苯醚甲环唑对番茄灰霉病菌的毒力。结果(表 3)显示,4 种药剂对番茄灰霉病菌的有效抑制中浓度(EC₅₀)分别为:0.018 0、0.018 1、1.896 8和 2.087 4 μg/mL。表明 4 种药剂对番茄灰霉病菌的菌丝生长都有较好的抑制作用,4 种单剂中咯菌腈对番茄灰霉病菌的毒力最高。

2.2 复配剂对番茄灰霉病菌的毒力

将咯菌腈、氟啶胺、啶酰菌胺和苯醚甲环唑 4

种药剂分别按照一定比例进行两元复配,采用菌丝生长速率法测定各复配剂对番茄灰霉病菌的毒力。结果(表 4)显示,不同组合、不同配比的复配剂对番茄灰霉病菌的毒力不同。复配剂啶酰菌胺:苯醚甲环唑 1:5、1:3 和 1:1、咯菌腈:苯醚甲环唑 1:5 增效作用最明显;复配剂咯菌腈:氟啶胺 1:3、咯菌腈:苯醚甲环唑 1:3、啶酰菌胺:咯菌腈 5:1、啶酰菌胺:苯醚甲环唑 3:1 具有增效作用,SR 范围为 1.5~4.05,其中以复配剂啶酰菌胺:苯醚甲环唑 1:5 增效作用最好,其 SR 为 4.05;其余不同配比的组合复配剂具有相加作用,其 SR 范围为 0.5~1.46。

表 3 4 种药剂单剂对番茄灰霉病菌的毒力

Table 3 Toxicities of four fungicides against *Botrytis cinerea* based on mycelial growth *in vitro*

杀菌剂 Fungicide	毒力回归方程 Toxicity regression equation	有效抑制中浓度/ $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ EC_{50}	相关系数 Correlation coefficient
咯菌腈 fludioxonil	$Y=7.435\ 3+1.396\ 5X$	0.018 0	0.975 2
氟啶胺 fluazinam	$Y=6.822\ 0+1.453\ 0X$	0.018 1	0.980 6
啶酰菌胺 boscalid	$Y=4.852\ 2+0.531\ 5X$	1.896 8	0.979 8
苯醚甲环唑 difenoconazole	$Y=4.893\ 4+0.336\ 0X$	2.087 4	0.997 1

表 4 不同复配剂对番茄灰霉病菌的毒力

Table 4 Toxicities of mixtures of fungicides against *Botrytis cinerea* based on mycelial growth *in vitro*

复配剂 Mixture	药剂比例 Fungicide proportion	毒力回归方程 Toxicity regression equation	相关系数 Correlation coefficient	实际测量抑制 中浓度/ $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ EC_{50} (Obs)	理论抑制中 浓度/ $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ EC_{50} (Exp)	SR
咯菌腈·氟啶胺 fludioxonil·fluazinam	5:1	$Y=7.650\ 3+1.506\ 6X$	0.965 5	0.017 4	0.018 0	1.03
	3:1	$Y=7.624\ 8+1.621\ 5X$	0.970 6	0.024 1	0.018 0	0.75
	1:1	$Y=8.150\ 5+1.848\ 1X$	0.986 8	0.019 7	0.018 0	0.91
	1:3	$Y=7.642\ 2+1.500\ 5X$	0.973 5	0.017 3	0.036 1	2.09
	1:5	$Y=7.904\ 3+1.602\ 7X$	0.984 5	0.015 4	0.018 1	1.18
咯菌腈·苯醚甲环唑 fludioxonil·difenoconazole	5:1	$Y=7.569\ 2+1.848\ 6X$	0.942 8	0.042 8	0.021 6	0.50
	3:1	$Y=7.678\ 6+1.755\ 9X$	0.954 7	0.029 8	0.023 9	0.80
	1:1	$Y=6.837\ 6+1.139\ 1X$	0.993 0	0.024 4	0.035 7	1.46
	1:3	$Y=6.472\ 2+1.053\ 1X$	0.987 8	0.040 0	0.070 2	1.76
	1:5	$Y=5.914\ 4+0.659\ 1X$	0.954 3	0.041 0	0.103 5	2.52
氟啶胺·苯醚甲环唑 fluazinam·difenoconazole	5:1	$Y=7.788\ 7+1.750\ 7X$	0.978 0	0.025 5	0.021 7	0.85
	3:1	$Y=7.476\ 8+1.507\ 3X$	0.986 6	0.022 7	0.024 1	1.06
	1:1	$Y=7.499\ 1+1.677\ 1X$	0.993 0	0.032 3	0.035 9	1.11
	1:3	$Y=6.769\ 3+1.572\ 9X$	0.987 8	0.075 0	0.070 6	0.94
	1:5	$Y=6.516\ 3+1.617\ 4X$	0.976 9	0.115 4	0.104 1	0.90
啶酰菌胺·苯醚甲环唑 boscalid·difenoconazole	5:1	$Y=4.771\ 9+0.643\ 1X$	0.992 8	2.262 9	1.926 1	0.85
	3:1	$Y=4.847\ 8+0.639\ 7X$	0.996 0	1.290 0	1.941 1	1.50
	1:1	$Y=5.186\ 4+0.754\ 2X$	0.997 7	0.566 0	1.985 0	3.51
	1:3	$Y=5.172\ 4+0.633\ 3X$	0.984 3	0.534 3	2.036 2	3.81
	1:5	$Y=5.206\ 8+0.700\ 3X$	0.959 6	0.506 7	2.05 08	4.05
啶酰菌胺·咯菌腈 boscalid·fludioxonil	5:1	$Y=6.420\ 2+1.206\ 1X$	0.994 4	0.066 4	0.103 1	1.55
	3:1	$Y=6.544\ 1+1.226\ 7X$	0.972 5	0.054 1	0.070 0	1.29
	1:1	$Y=6.803\ 1+1.179\ 3X$	0.908 9	0.029 6	0.035 7	1.21
	1:3	$Y=6.853\ 9+1.123\ 8X$	0.988 4	0.044 0	0.023 9	0.54
	1:5	$Y=6.923\ 3+1.143\ 4X$	0.985 0	0.020 8	0.021 6	1.04
啶酰菌胺·氟啶胺 boscalid·fluazinam	5:1	$Y=6.218\ 8+1.634\ 1X$	0.986 9	0.179 5	0.103 7	0.58
	3:1	$Y=6.699\ 5+1.992\ 4X$	0.985 9	0.140 3	0.070 4	0.50
	1:1	$Y=6.711\ 4+1.195\ 8X$	0.991 3	0.037 0	0.035 9	0.97
	1:3	$Y=7.547\ 2+1.614\ 5X$	0.990 1	0.026 4	0.024 1	0.91
	1:5	$Y=8.189\ 3+1.930\ 1X$	0.958 4	0.022 3	0.021 7	0.97

3 结论与讨论

灰霉病菌具有繁殖快、遗传变异性大和田间适合度高等特点,属于抗药性发生风险高的病原菌,极易对防治药剂产生抗药性^[20]。采用不同作用机制的杀菌剂交替或复配使用,是阻止或延缓病原菌抗药性进一步加剧的主要策略。咯菌腈属于苯基吡咯类非内吸性杀菌剂,是渗透信号传导的分裂蛋白活化激酶/组氨酸激酶抑制剂^[21];氟啶胺属于苯胺吡

啉类杀菌剂,是解偶联剂,破坏氧化磷酸化^[22];啶酰菌胺属于新型烟酰胺类内吸性杀菌剂,是呼吸作用抑制剂^[23];苯醚甲环唑属于三唑类杀菌剂,是甾醇脱甲基化抑制剂^[24]。本研究采用菌丝生长速率法测定了咯菌腈、氟啶胺、啶酰菌胺和苯醚甲环唑 4 种不同作用机制的杀菌剂单剂及其两元复配剂对番茄灰霉病菌的毒力。

单剂研究结果显示,4 种药剂对番茄灰霉病菌的有效抑制中浓度由低到高依次为:咯菌腈(0.018 0 $\mu\text{g}/\text{mL}$)、

氟啶胺(0.018 1 $\mu\text{g}/\text{mL}$)、啉酰菌胺(1.896 8 $\mu\text{g}/\text{mL}$)和苯醚甲环唑(2.087 4 $\mu\text{g}/\text{mL}$),表明4种药剂对番茄灰霉病菌菌丝生长均有较好的抑制作用。咯菌腈和氟啶胺单剂对番茄灰霉病菌具有较高的毒力,而且在田间尚没有发现抗咯菌腈和氟啶胺的番茄灰霉病菌菌株^[25-26]。近年来,虽然陆续在田间发现了抗苯醚甲环唑和啉酰菌胺的番茄灰霉病菌菌株,但其抗药性水平和频率还处于较低水平^[23, 27]。复配剂研究结果显示,不同配比的各组合复配剂具有增效或相加作用,没有拮抗作用,表明4种杀菌剂在两两复配使用时各药剂的作用机理互不影响。二元复配剂中以啉酰菌胺:苯醚甲环唑1:5增效作用最好,主要是由于啉酰菌胺是呼吸作用抑制剂,能够抑制病原菌能量的生成,苯醚甲环唑是甾醇脱甲基化抑制剂,能够抑制病原菌的生物合成,两者相辅相成。综上所述,4种不同作用机制的杀菌剂及其二元复配剂对番茄灰霉病菌均有较高的毒力,建议生产中采用这4种不同作用机制的杀菌剂进行交替或复配使用,以阻止或延缓灰霉菌抗药性的进一步发展,为灰霉病的综合防控和抗药性治理提供理论依据。

参考文献

- [1] Chapeland F, Fritz R, Lanen C, et al. Inheritance and mechanisms of resistance to anilinopyrimidine fungicides in *Botrytis cinerea* (*Botryotinia fuckeliana*) [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 1999, 64: 85-100.
- [2] Leroux P, Chapeland F, Desbrosses D, et al. Patterns of cross-resistance to fungicides in *Botryotinia fuckeliana* (*Botrytis cinerea*) isolates from French vineyards [J]. Crop Protection, 1999, 18(10): 687-697.
- [3] Williamson B, Tudzynski B, Tudzynski P, et al. *Botrytis cinerea*: the cause of grey mould disease [J]. Molecular Plant Pathology, 2007, 8(5): 561-580.
- [4] Widiastuti A, Yoshino M, Saito H, et al. Induction of disease resistance against *Botrytis cinerea* by heat shock treatment in melon (*Cucumis melo* L.) [J]. Physiological and Molecular Plant Pathology, 2011, 75(4): 157-162.
- [5] Baptista F J, Bailey B J, Meneses J F. Effect of nocturnal ventilation on the occurrence of *Botrytis cinerea* in mediterranean unheated tomato greenhouses [J]. Crop Protection, 2012, 32: 144-149.
- [6] 刘圣明, 高续恒, 张艳慧, 等. 河南省番茄灰霉病菌对3种杀菌剂的抗药性检测[J]. 植物保护, 2014, 40(4): 144-147.
- [7] 刘圣明, 车志平, 陈根强. 河南省番茄灰霉病菌对啉霉胺的抗药性检测[J]. 农药, 2014, 53(6): 442-444.
- [8] 乔广行, 严红, 么奕清, 等. 北京地区番茄灰霉病菌的多重抗药性检测[J]. 植物保护, 2011, 37(5): 176-180.
- [9] Rosslénbroich H J, Stuebler D. *Botrytis cinerea*-history of chemical control and novel fungicides for its management [J]. Crop Protection, 2000, 19: 557-561.

- [10] Liu Shengming, Che Zhiping, Chen Genqiang. Multiple-fungicide resistance to carbendazim, diethofencarb, procymidone, and pyrimethanil in field isolates of *Botrytis cinerea* from tomato in Henan Province, China [J]. Crop Protection, 2016, 84: 56-61.
- [11] 周明国, 叶钟音, 刘经芬. 南京市郊灰霉菌对苯并咪唑类杀菌剂田间抗性的检测[J]. 南京农业大学学报, 1987, 10(2): 53-57.
- [12] Sun Haiyan, Wang Hancheng, Chen Yu, et al. Multiple resistance of *Botrytis cinerea* from vegetable crops to carbendazim, diethofencarb, procymidone, and pyrimethanil in China [J]. Plant Disease, 2010, 94(5): 551-556.
- [13] Shinpei B, Fumiyasu F, Akihiko I, et al. Genotyping of benzimidazole-resistant and dicarboximide-resistant mutations in *Botrytis cinerea* using real-time polymerase chain reaction assays [J]. Phytopathology, 2008, 98: 397-404.
- [14] Bollen G J, Scholten G. Acquired resistance to benomyl and some other systemic fungicides in a strain of *Botrytis cinerea* in cyclamen [J]. Netherlands Journal Plant Pathology, 1971, 77: 83-90.
- [15] 宋晰, 肖露, 林东, 等. 番茄灰霉病菌对腐霉利的抗药性检测及生物学性状研究[J]. 农药学报, 2013, 15(4): 398-404.
- [16] 潘以楼, 朱桂梅, 郭建. 江苏草莓灰霉病菌对5种杀菌剂的抗药性[J]. 江苏农业学报, 2013, 29(2): 299-304.
- [17] 纪明山, 程根武, 张益先, 等. 灰霉病菌对多菌灵和乙霉威抗性研究[J]. 沈阳农业大学学报, 1998, 29(3): 213-216.
- [18] Gisi U, Binder H, Rimbach E. Synergistic interactions of fungicides with different modes of action [J]. Transactions of the British Mycological Society, 1985, 85: 299-306.
- [19] Gisi U. Synergistic interaction of fungicides in mixtures [J]. Phytopathology, 1996, 86: 1273-1279.
- [20] Leroux P, Fritz R, Debieu D, et al. Mechanisms of resistance to fungicides in field strains of *Botrytis cinerea* [J]. Pest Management Science, 2002, 58: 876-888.
- [21] Leroux P. Recent developments in the mode of action of fungicides [J]. Pest Management Science, 1996, 47(2): 191-197.
- [22] Cross R L, Müller V. The evolution of A-, F-, and V-type ATP synthases and ATPases; reversals in function and changes in the H^+ /ATP coupling ratio [J]. FEBS Letters, 2004, 576: 1-4.
- [23] Zhang Chuanqing, Yuan Shankui, Sun Haiyan, et al. Sensitivity of *Botrytis cinerea* from vegetable greenhouses to boscalid [J]. Plant Pathology, 2007, 56: 646-653.
- [24] 范子耀, 王文桥, 孟润杰, 等. 吡唑醚菌酯与苯醚甲环唑混合物对链格孢的联合毒力及其对马铃薯产量的影响[J]. 农药学报, 2011, 13(6): 591-596.
- [25] 赵建江, 张小风, 马志强, 等. 番茄灰霉病菌对咯菌腈的敏感基线及其与不同杀菌剂的交互抗性[J]. 农药, 2013, 52(9): 684-685.
- [26] Shao Wenying, Ren Weichao, Zhang Yu, et al. Baseline sensitivity of natural populations and characterization of resistant strains of *Botrytis cinerea* to fluazinam [J]. Australasian Plant Pathology, 2015, 44: 375-383.
- [27] 赵建江, 韩秀英, 张小风, 等. 灰葡萄孢(*Botrytis cinerea*)对苯醚甲环唑的敏感性及其对不同杀菌剂的交互抗性[J]. 中国农学通报, 2010, 26(22): 282-286.

(责任编辑: 杨明丽)