技 术 与 应 用
Technology & Application

9 种三唑类杀菌剂对苹果轮纹病菌的毒力及田间防效

姜莉莉[1], 付 丽[1], 薛 雯[2], 曲健禄[1], 武海斌[1], 范 昆[1*]

(1. 山东省果树研究所, 泰安 271000; 2. 山东省农药检定所, 济南 250100)

摘要 为筛选得到防治苹果轮纹病的高效药剂,采用生长速率法测定 9 种三唑类杀菌剂对苹果轮纹病菌菌丝生长的毒力,评价其对苹果生长的安全性及对轮纹病的田间防治效果。结果表明,苯醚甲环唑和氟硅唑对苹果轮纹病菌的室内毒力较高,EC_{50} 分别为 0.107 μg/mL 和 0.140 μg/mL;其次为氟环唑、丙环唑和己唑醇,EC_{50} 分别为 0.220、0.238 μg/mL 和 0.452 μg/mL。在田间防效试验中,氟硅唑(57.1 mg/kg)、丙环唑(166.7 mg/kg)和苯醚甲环唑(66.7 mg/kg)对苹果轮纹病的防效最高。2018 年果实采收前防效分别为 84.75%、83.66%和 82.05%,采后 30 d 分别为 73.33%、73.33%和 68.33%;2019 年采收前防效分别为 82.25%、87.66%和 87.41%,采后30 d分别为 75.41%、70.49%和 73.77%。同时,各药剂对苹果生长均无不良影响,可用于苹果轮纹病防治。

关键词 苹果轮纹病菌; 三唑类杀菌剂; 毒力; 田间防效

中图分类号: S 436.611.19 **文献标识码**: B **DOI**: 10.16688/j.zwbh.2019706

Toxicity of nine triazole fungicides to *Botryosphaeria dothidea* and their control efficacy on apple ring rot

JIANG Lili[1], FU Li[1], XUE Wen[2], QU Jianlu[1], WU Haibin[1], FAN Kun[1*]

(1. *Shandong Institute of Pomology*, *Tai'an* 271000, *China*;
2. *Shandong Provincial Institute for the Control of Agrochemicals*, *Jinan* 250100, *China*)

Abstract To get effective fungicides for apple ring rot control, nine triazole fungicides were tested for their indoor toxicity to *Botryosphaeria dothidea*, the safety for apple tree growth and field control efficacy. The results showed that difenoconazole and fluosilazole exhibited highest toxicity to *B. dothidea*, with EC_{50} values of 0.107 μg/mL and 0.140 μg/mL, respectively. The second was epoxiconazole, propiconazole and hexaconazole, with EC_{50} values of 0.220 μg/mL, 0.238 μg/mL and 0.452 μg/mL, respectively. In the field experiment, fluosilazole (57.1 mg/kg), propiconazole (166.7 mg/kg) and difenoconazole (66.7 mg/kg) showed the highest control efficacy on apple ring rot. In 2018, the control efficacy before harvest was 84.75%, 83.66% and 82.05%, respectively, and 30 days after harvest was 73.33%, 73.33% and 68.33%, respectively. In 2019, the control efficacy before harvest was 82.25%, 87.66% and 87.41%, respectively, and 30 days after harvest was 75.41%, 70.49% and 73.77%, respectively. At the same time, none of the tested fungicides had any adverse effect on apple growth, and was safety for apple ring rot control.

Key words *Botryosphaeria dothidea*; triazole fungicide; toxicity; field efficacy

我国是世界上最大的苹果生产国[1],轮纹病是 苹果生产中的主要病害之一[2],其病原菌为贝氏葡

收稿日期: 2019-12-23 **修订日期**: 2020-03-13
基金项目: 山东省自然科学基金(ZR2019PC013,ZR2013CQ040);泰安市科技发展计划(2015NS1062)
* 通信作者 E-mail:kunstage@163.com

菊座腔菌梨专化型 *Botryosphaeria dothidea*，多发于苹果枝干和果实，造成枝干溃疡、树势衰弱、果实腐烂，严重影响苹果产业发展和果农种植收入[3-4]。随着研究的不断深入，已证实苹果轮纹病与干腐病、欧美地区的苹果白腐病为同一种病害[5]。同时，苹果轮纹病菌的寄主范围较广，除苹果外还可侵染梨、桃、杏等其他果树，对果业生产影响巨大[6]。

目前，对苹果轮纹病的农业防治效果有限，抗性品种尚未广泛应用[7]。生产上仍以化学药剂防治为主，主要化学药剂包括甲基硫菌灵、代森锰锌等。三唑类杀菌剂是 20 世纪 70 年代发展起来的一类高效杀菌剂，其通过抑制菌体麦角甾醇的生物合成而发挥药效[8]，具有内吸性，且高效、低毒、持效期长、兼具预防和治疗作用，可用于防治子囊菌、担子菌及半知菌引起的多种病害[9]。显微镜观察发现，三唑类杀菌剂可抑制苹果轮纹病菌的菌丝生长，使菌丝干瘪、畸形、龟裂，菌丝细胞解体死亡[10]。由于三唑类杀菌剂对植株生长有一定的抑制作用，其在作物上的应用需进行安全性评价[11]。中国农药信息网数据显示，戊唑醇和氟硅唑已获得登记，可用于苹果轮纹病的防治；含苯醚甲环唑、丙环唑、腈菌唑的复配制剂也已登记用于苹果轮纹病的防治。目前，不同三唑类杀菌剂对苹果轮纹病的作用效果的比较尚未见系统报道。

本研究在室内条件下测定戊唑醇、苯醚甲环唑、氟硅唑、氟菌唑、叶菌唑、丙环唑、腈菌唑、己唑醇和氟环唑 9 种三唑类杀菌剂对苹果轮纹病菌 *B. dothidea* 菌丝生长的毒力，在田间条件下评价 4 种未登记药剂对苹果树的安全性，并在轮纹病发生严重的果园进行两年田间药效试验，筛选防治苹果轮纹病的高效三唑类杀菌剂。

1 材料与方法

1.1 供试菌株

对采集于山东省曲阜市吴村镇苹果园的轮纹病病果进行病原菌分离，按照柯赫氏法则进行回接鉴定，获得苹果轮纹病菌贝氏葡萄座腔菌梨专化型 *Botryosphaeria dothidea*。

1.2 供试药剂

95%戊唑醇原药和 430 g/L 戊唑醇悬浮剂(SC)，拜耳股份公司；95%苯醚甲环唑原药，江西农大锐特化工科技有限公司；10%苯醚甲环唑水分散粒剂(WG)，先正达南通作物保护有限公司；氟菌唑 97%原药和 30%可湿性粉剂(WP)，日本曹达株式会社；95%氟硅唑原药和 96%腈菌唑原药，山东潍坊润丰化工股份有限公司；400 g/L 氟硅唑乳油(EC)和 12.5%腈菌唑微乳剂(ME)，深圳诺普信农化股份有限公司；95%叶菌唑原药和 50%叶菌唑水分散粒剂(WG)，江苏辉丰生物农业股份有限公司；88%丙环唑原药和 250 g/L 丙环唑乳油(EC)，瑞士先正达作物保护有限公司；95%己唑醇原药和 25%己唑醇悬浮剂(SC)，97%氟环唑原药和 12.5%氟环唑悬浮剂(SC)，山东省联合农药工业有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 室内毒力测定

室内毒力测定采用生长速率法。在预试验的基础上，将供试药剂母液稀释成系列梯度浓度。将各浓度药液加入 50℃左右的 PDA 培养基中，摇匀后倾倒至直径9 cm的灭菌培养皿中，制成含药平板。在活化好的苹果轮纹病菌菌落边缘，以直径 7 mm 的打孔器打取菌饼，接种至平板上。以无菌水代替药液为对照，每个平板为 1 个重复，每处理重复 3 次。25℃黑暗培养，待对照菌落长至培养皿 2/3 左右时，采用十字交叉法测量各处理菌落直径，计算各处理的菌丝生长抑制率。以毒力最低的药剂为标准药剂，计算其他药剂的相对毒力指数。

菌丝生长抑制率＝(对照组菌落直径－处理组菌落直径)/对照组菌落增长直径×100%。

相对毒力指数＝标准药剂 EC_{50}/供试药剂 EC_{50}。

1.3.2 安全性试验

在山东省果树研究所五果园，选取‘红富士’‘嘎啦’和‘金帅’3 个品种 5 年生幼树，按照药剂推荐剂量的最高浓度的 1、2 倍和 4 倍进行全树均匀喷雾。每 2 株树为 1 小区，重复 4 次，随机区组排列，以清水处理为对照。施药时间分别为 2018 年 6 月 1 日、6 月 8 日和 6 月 15 日。分别于 6 月 4 日、6 月 8 日、6 月 15 日、6 月 25 日观察药剂对苹果叶片和果实的安全性；并于 6 月 25 日进行一年生新梢长度调查，每小区随机选取 15 个枝条，测量基部到顶梢的长

度。通过数据统计分析,判断药剂对果树生长有无刺激或抑制作用,以评价其安全性。

1.3.3 田间防效试验

田间试验选址于山东省曲阜市吴村镇'金帅'苹果园,树龄 20 年,常规不套袋管理。2018 年 4 月 12 日和 2019 年 4 月 19 日分别进行当年第 1 次施药,其后每 10～15 d 施药 1 次,共喷施 8 次。根据各药剂在中国农药信息网上的标签信息确定施用剂量,施药液量以叶片、果面均匀着药、并稍有药液下滴为度,每株树所需药液量约为 2.5～3 L。每 2 株树为 1 个小区,每个处理重复 4 次,随机区组排列。

分别于 2018 年 9 月 9 日和 2019 年 9 月 15 日(果实近成熟期)统计各小区树上及树下掉落的果实总数和轮纹病果数,计算病果率。

病果率=(树上轮纹病果数+树下轮纹病果数)/(树上总果数+树下总果数)×100%。

果实采收期,在每株果树的东、南、西、北及顶部设 5 个取样点,每个点随机摘取 5 个果实,每个小区共采集 50 个果实放置于塑料保鲜袋中,室温存放 30 d 后,调查病果数,计算病果率和各药剂的防治效果。

防治效果=(对照组病果率－处理组病果率)/对照组病果率×100%。

1.4 数据分析

采用 SPSS 18.0 计算 EC_{50}、EC_{95} 及 95%置信限。采用 Duncan 氏新复极差法进行处理间数据的差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 9 种三唑类杀菌剂对苹果轮纹病菌的毒力

由表 1 可以看出,氟菌唑和叶菌唑对苹果轮纹病菌的毒力最低,EC_{50} 分别为 1.751 μg/mL 和 1.521 μg/mL,EC_{95} 分别为 57.805 μg/mL 和 224.169 μg/mL。苯醚甲环唑和氟硅唑的毒力最高,EC_{50} 分别为 0.107 μg/mL 和 0.140 μg/mL,分别为氟菌唑的 16.364 倍和 12.507 倍;EC_{95} 分别为 4.479 μg/mL 和 4.083 μg/mL,分别为叶菌唑的 50.049 倍和54.903倍。氟环唑、丙环唑、己唑醇、戊唑醇和腈菌唑的 EC_{50} 分别为 0.220、0.238、0.452、0.578 μg/mL 和 1.274 μg/mL,毒力分别为氟菌唑的 7.959、7.357、3.874、3.029 倍和 1.374 倍;EC_{95} 分别为 11.284、7.066、17.173、35.571 μg/mL 和 42.834 μg/mL,毒力分别为叶菌唑的 19.866、31.725、13.054、6.302 倍和 5.233 倍。

表 1　9 种三唑类杀菌剂对苹果轮纹病菌菌丝生长的室内毒力

Table 1　Indoor toxicity of nine triazole fungicides to *Botryosphaeria dothidea*

药剂 Fungicide	EC_{50}(95%CL)/μg·mL^{-1}	相对毒力指数 Relative toxicity	EC_{95}(95%CL)/μg·mL^{-1}	相对毒力指数 Relative toxicity	卡方(χ^2) Chi-square (df=3)	相关系数 Correlation coefficient
戊唑醇 tebuconazole	0.578 (0.520～0.640)	3.029	35.571 (26.460～47.819)	6.302	0.359	0.997 2
苯醚甲环唑 difenoconazole	0.107 (0.090～0.128)	16.364	4.479 (2.961～6.778)	50.049	0.124	0.992 8
氟硅唑 flusilazole	0.140 (0.132～0.149)	12.507	4.083 (3.466～4.811)	54.903	0.203	0.998 8
氟菌唑 triflumizole	1.751 (1.638～1.872)	1.000	57.805 (49.439～67.586)	3.878	0.228	0.998 9
叶菌唑 metconazole	1.521 (1.240～1.866)	1.151	224.169 (76.069～660.608)	1.000	0.335	0.984 0
丙环唑 propiconazole	0.238 (0.207～0.274)	7.357	7.066 (5.099～9.790)	31.725	0.089	0.994 8
腈菌唑 myclobutanil	1.274 (1.108～1.464)	1.374	42.834 (30.102～60.952)	5.233	0.078	0.994 7

续表 1 Table 1(Continued)

药剂 Fungicide	EC_{50}(95%CL)/μg·mL^{-1}	相对毒力指数 Relative toxicity	EC_{95}(95%CL)/μg·mL^{-1}	相对毒力指数 Relative toxicity	卡方(χ^2) Chi-square (df=3)	相关系数 Correlation coefficient
己唑醇 hexaconazole	0.452 (0.373～0.547)	3.874	17.173 (10.859 2～27.159)	13.054	0.332	0.991 1
氟环唑 epoxiconazole	0.220 (0.186～0.260)	7.959	11.284 (7.346～17.334)	19.866	0.386	0.993 3

2.2 4 种三唑类杀菌对苹果树的安全性评价

对 4 种未登记用于苹果轮纹病防治的三唑类杀菌剂进行安全性评价发现，末次用药 10 d 后，30%氟菌唑 WP、50%叶菌唑 WG、25%己唑醇 SC 和 12.5%氟环唑 SC 的 1、2 倍和 4 倍剂量处理的‘富士’‘嘎啦’和‘金帅’3 个品种苹果枝条长度与清水对照无显著差异，表明其对苹果枝条伸长无刺激或抑制作用(表 2)。同时，各剂量药剂处理对苹果叶色、形态等无不良影响，表明其在推荐剂量下对苹果安全，可以用于苹果轮纹病的防治。

表 2 4 种三唑类杀菌剂对苹果树的安全性评价[1)]

Table 2 Safety evaluation of four triazole fungicides to apple trees

药剂 Fungicide	稀释倍数 Dilution ratio	有效成分用量/mg·kg^{-1} Dosage of active ingredient	枝条长度/cm Branch length		
			富士 Fuji	嘎啦 Gala	金帅 Golden Delicious
30%氟菌唑 WP triflumizole 30% WP	3 000	100.0	(62.13±0.64)a	(80.73±1.25)a	(81.16±2.27)a
	1 500	200.0	(59.22±3.74)a	(81.58±1.57)a	(81.31±1.49)a
	750	400.0	(59.51±2.57)a	(79.02±3.27)a	(80.78±0.67)a
50%叶菌唑 WG metconazole 50% WG	3 000	166.7	(61.67±1.86)a	(80.13±2.53)a	(81.56±0.96)a
	1 500	333.3	(60.52±0.40)a	(77.12±3.57)a	(80.46±2.21)a
	750	666.7	(60.33±2.33)a	(79.00±4.62)a	(81.33±2.90)a
25%己唑醇 SC hexaconazole 25% SC	4 000	62.5	(61.47±3.52)a	(81.77±1.50)a	(81.89±2.78)a
	2 000	125.0	(61.10±4.00)a	(79.53±5.37)a	(79.48±2.25)a
	1 000	250.0	(59.17±3.59)a	(81.13±2.54)a	(78.48±4.23)a
12.5%氟环唑 SC epoxiconazole 12.5% SC	1 500	83.3	(59.59±1.56)a	(79.93±5.10)a	(80.23±1.19)a
	750	166.7	(59.56±4.58)a	(81.93±2.89)a	(79.93±4.71)a
	375	333.3	(58.89±2.73)a	(78.19±3.55)a	(78.02±2.70)a
对照 Control	—	—	(62.13±2.61)a	(81.84±2.02)a	(81.91±0.78)a

1) 表中数据为平均值±标准差，同列数据后相同字母表示在 0.05 水平上差异不显著，表 3 同。
Data in the table were average±SD, and the same letter indicated no significant difference among data in the same column, the same as in table 3.

2.3 9 种三唑类杀菌剂对苹果轮纹病的田间防效

由表 3 可以看出，在试验剂量下，9 种三唑类杀菌剂对苹果轮纹病菌均表现出一定的田间防效，但药剂之间及年份之间均存在差异。在 2018 年，400 g/L氟硅唑 EC(57.1 mg/kg)、250 g/L 丙环唑 EC (166.7 mg/kg)和 10%苯醚甲环唑 WG (66.7 mg/kg)对苹果轮纹病的防效位列前三，果实采收前分别为 84.75%、83.66%和 82.05%，采后30 d防效分别为 73.33%、73.33%和 68.33%。50%叶菌唑 WG 虽室内毒力较低，但按 166.7 mg/kg 浓度喷施也有较高的防效，采前和采后 30 d 防效分别为 80.46%和 66.67%。此外，430 g/L 戊唑醇 SC(143.3 mg/kg)、12.5%氟环唑 SC (83.3 mg/kg)、12.5%腈菌唑 ME(62.5 mg/kg)、30%氟菌唑 WP(100.0 mg/kg)和 25%己唑醇 SC(62.5 mg/kg)的采前防效分别为 78.76%、78.32%、75.67%、74.03%和 73.47%，采后 30 d 防效也均高于 60.00%。在 2019 年，丙环唑、苯醚甲环唑和氟硅唑对苹果轮纹病的防效位列前三，采

收前分别为 87.66%、87.41%和 82.25%,采后 30 d 分别为 70.49%、73.77%和 75.41%。此外,腈菌唑、戊唑醇、叶菌唑和氟环唑的采前防效均高于 70.00%,采后 30 d 防效均高于 65.00%。综合分析两年的数据发现,氟硅唑、丙环唑和苯醚甲环唑对苹果轮纹病的防效较高。

表 3　9 种三唑类杀菌剂对苹果轮纹病的田间防效

Table 3　Field control efficacy of nine triazole fungicides to apple ring spot

药剂 Fungicide	稀释倍数 Dilution ratio	有效成分用量/mg·kg^{-1} Dosage of active ingredient	田间防效/% Field control efficacy			
			2018		2019	
			采收前 Before harvest	采后 30 d 30 d after harvest	采收前 Before harvest	采后 30 d 30 d after harvest
430 g/L 戊唑醇 SC tebuconazole 430 g/L SC	3 000	143.3	(78.76±4.35)ab	(66.67±5.44)ab	(71.90±2.07)bc	(65.57±8.25)ab
10%苯醚甲环唑 WG difenoconazole 10% WG	1 500	66.7	(82.05±5.17)ab	(68.33±6.38)ab	(87.41±1.98)a	(73.77±5.36)a
400 g/L 氟硅唑 EC flusilazole 400 g/L EC	7 000	57.1	(84.75±1.49)a	(73.33±5.44)a	(82.25±2.33)a	(75.41±6.28)a
30%氟菌唑 WP triflumizole 30% WP	3 000	100.0	(74.03±9.82)b	(60.00±12.17)b	(68.27±4.52)c	(63.93±13.65)ab
50%叶菌唑 WG metconazole 50% WG	3 000	166.7	(80.46±4.65)ab	(66.67±5.44)ab	(73.29±7.34)bc	(65.57±3.27)ab
250 g/L 丙环唑 EC propiconazole 250 g/L EC	1 500	166.7	(83.66±3.91)a	(73.33±5.44)a	(87.66±2.73)a	(70.49±3.79)ab
12.5%腈菌唑 ME myclobutanil 12.5% ME	2 000	62.5	(75.67±3.43)ab	(63.33±6.67)ab	(75.18±7.33)b	(67.21±5.35)ab
25%己唑醇 SC hexaconazole 25% SC	4 000	62.5	(73.47±9.82)b	(61.67±8.39)b	(66.90±1.86)c	(60.66±5.35)b
12.5%氟环唑 SC epoxiconazole 12.5% SC	1 500	83.3	(78.32±3.97)ab	(63.33±3.85)ab	(71.86±0.760)bc	(67.21±7.58)ab

3　结论与讨论

目前,三唑类杀菌剂是品种较多、应用较广的一类杀菌剂[12-13],但不同药剂品种对不同靶标病原菌的作用效果又存在差异。Fan 等[14]报道,戊唑醇对苹果白腐病防效较高。温浩等[15]报道,氟环唑、苯醚甲环唑和戊唑醇对草莓病原菌新拟盘多孢 *Neopestalotiopsis clavispora* 的室内 EC_{50} 分别为 0.399、0.468 μg/mL 和 0.331 μg/mL。胡起兴等[16]报道,苯醚甲环唑和戊唑醇对瓜叶菊菌核病菌 *Sclerotinia* sp. 的 EC_{50} 分别为 0.197 3 μg/mL 和 0.436 5 μg/mL。苏振国等[17]报道,苯醚甲环唑、丙环唑、氟环唑和戊唑醇对桑褐斑病病原菌壳丰孢 *Phloespora maculans* (Bereng.) Allesch 具有较高的抑制活性,对菌丝生长的 EC_{50} 分别为 0.006 6、0.020 5、0.028 9 μg/mL 和 0.258 0 μg/mL。曹海潮等[18]报道,丙环唑、戊唑醇和氟硅唑对番茄颈腐根腐病菌 *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* 的菌丝生长 EC_{50} 分别为 0.058、0.075 μg/mL 和 0.013 μg/mL。本研究发现,苯醚甲环唑和氟硅唑对苹果轮纹病菌的室内毒力最高,EC_{50} 分别为 0.107 μg/mL和 0.140 μg/mL;氟环唑、丙环唑、己唑醇、戊唑醇和腈菌唑的 EC_{50} 分别为 0.220、0.238、0.452、0.578 μg/mL 和 1.274 μg/mL,氟菌唑和叶菌唑的毒力较低,EC_{50} 分别为 1.751 μg/mL 和 1.521 μg/mL。

田间药效试验方面,张彬彬等[19]报道,30%苯醚甲环唑悬浮剂和 12.5%氟环唑悬浮剂对烟草赤星病的田间防效分别为 73.99%和 70.57%。宋益民等[20]报道,10%己唑醇悬浮剂、20%苯醚甲环唑微乳剂、250 g/L 丙环唑乳油和 12.5%氟硅唑乳油对水稻纹枯病的田间防效分别为 85.14%、94.84%、93.38%和 93.01%;12.5%氟环唑悬浮剂、430 g/L 戊唑醇悬浮剂和 10.0%己唑醇悬浮剂对水稻穗颈瘟的

防效分别为84.34%、78.61%和82.86%，12.5%氟环唑悬浮剂、430 g/L戊唑醇悬浮剂、10.0%苯醚甲环唑水分散粒剂和250 g/L丙环唑乳油对稻曲病的防效分别为83.56%、88.32%、85.43%和86.67%[21]。本研究通过两年田间试验发现，氟硅唑(57.1 mg/kg)、丙环唑(166.7 mg/kg)和苯醚甲环唑(66.7 mg/kg)对苹果轮纹病的防效最高，2018年的果实采收前防效分别为84.75%、83.66%和82.05%，采后30 d防效分别为73.33%、73.33%和68.33%，2019年的果实采收前防效分别为82.25%、87.66%和87.41%，采后30 d防效分别为75.41%、70.49%和73.77%。这可能是由于氟硅唑的渗透性较强[22]，丙环唑对菌株过氧化氢酶有较强的结合能力[23]，苯醚甲环唑能够破坏真菌细胞壁结构，造成细胞膜内外渗透压失衡、原生质渗漏[7]。同时，安全性试验发现，各药剂对苹果树生长发育无不良影响。因此，供试9种三唑类杀菌剂均可用于苹果轮纹病的防治，其中氟硅唑、丙环唑、苯醚甲环唑的防治效果最佳。

参考文献

[1] 国立耘，李金云，李保华，等. 中国苹果枝干轮纹病发生和防治情况[J]. 植物保护，2009，35(4)：120－123.

[2] 范昆，付丽，张勇，等. 10种杀菌剂对苹果轮纹病菌的室内毒力及田间防治效果研究[J]. 江西农业学报，2016，28(10)：32－35.

[3] 雍道敬，王彩霞，李桂舫，等. 内生放线菌A-1对苹果果实轮纹病的防效及防御性酶活性的影响[J]. 植物保护学报，2014，41(3)：335－341.

[4] ZHAI Lifeng，XIANG Jun，ZHANG Meixin，et al. Characterization of a novel double-stranded RNA mycovirus conferring hypovirulence from the phytopathogenic fungus *Botryosphaeria dothidea* [J]. Virology，2016，493：75－85.

[5] 李兰进，国立耘，王蒙蒙. 戊唑·多菌灵·乙磷铝乳胶液对苹果枝干轮纹病的防治效果[J]. 植物保护，2016，42(2)：241－246.

[6] 孙圣，冯福应，张子义. 苹果轮纹病菌(*Botryosphaeria dothidea*)拮抗细菌的筛选与鉴定[J]. 北方农业学报，2019，47(2)：83－87.

[7] 刘秀霞，梁宇宁，张伟伟，等. 超表达*MdFLS2*的拟南芥*fls2*突变体识别细菌鞭毛蛋白，提高对轮纹病菌的抗性[J]. 园艺学报，2018，45(5)：827－844.

[8] 高双，高小宁，冯浩，等. 苯醚甲环唑对苹果树腐烂病菌菌丝形态和超微结构的影响[J]. 果树学报，2017，34(10)：1323－1329.

[9] 肖星，陈照，谢艺贤. 防治香蕉叶斑病杀菌剂的应用进展[J]. 热带农业科学，2008，28(2)：76－81.

[10] 刘刚. 三唑类杀菌剂对苹果轮纹病菌超微结构的影响基本明确[J]. 农药市场信息，2017，30(13)：43－44.

[11] 王晓坤，郭贝贝，高杨杨，等. 六种三唑类杀菌剂对番茄叶霉病菌的毒力及其安全性和田间防效评价[J]. 植物保护学报，2017，44(4)：671－678.

[12] 葛婧，蒋金花，蔡磊明. 3种三唑类杀菌剂对斑马鱼的毒性研究[J]. 浙江农业学报，2018，30(5)：744－755.

[13] LV Xuan，PAN Liumeng，WANG Jiaying，et al. Effects of triazole fungicides on androgenic disruption and CYP3A4 enzyme activity [J]. Environmental Pollution，2017，222：504－512.

[14] FAN Kun，WANG Jie，FU Li，et al. Sensitivity of *Botryosphaeria dothidea* from apple to tebuconazole in China [J]. Crop Protection，2016，87：1－5.

[15] 温浩，魏佳爽，张桂军，等. 九种杀菌剂对新拟盘多毛孢病菌的室内毒力作用[J]. 农药学学报，2019，21(4)：437－443.

[16] 胡起兴，段海明，李雪停，等. 10种杀菌剂对瓜叶菊菌核病菌的室内生物活性测定[J]. 农学学报，2015，5(4)：36－39.

[17] 苏振国，江秀均，杨振国，等. 5种杀菌剂对桑褐斑壳丰孢病菌的抑制活性和对家蚕的毒力测定[J]. 蚕业科学，2018，44(4)：645－648.

[18] 曹海潮，李秀环，王晓坤，等. 吡唑醚菌酯及三唑类杀菌剂对番茄颈腐根腐病的防治效果[J]. 中国农业科学，2018，51(21)：4065－4075.

[19] 张彬彬，赵晓雨，刘翔，等. 烟草赤星病菌对苯醚甲环唑和氟环唑敏感性测定及田间防效试验[J]. 植物保护学报，2019，46(3)：699－704.

[20] 宋益民，陈惠，丛国林. 9种杀菌剂防治水稻纹枯病的田间药效评价[J]. 江苏农业科学，2013，41(10)：104－105.

[21] 宋益民，丛国林. 稻曲病、水稻穗颈瘟防治药剂筛选及其协同防治技术[J]. 江苏农业学报，2016，32(6)：1268－1272.

[22] 张晓凯，刘剑南，徐成滨，等. 氟硅唑对丰年虫急性毒性及氧化应激的影响[J]. 热带生物学报，2019，10(2)：140－144.

[23] SATAPUTE P，SANAKAL R D，MULLA S I，et al. Molecular interaction of the triazole fungicide propiconazole with homology modelled superoxide dismutase and catalase [J]. Environmental Sustainability，2019，2：429－439.

(责任编辑：杨明丽)