农药学学报 2021, 23(3): 509-514
Chinese Journal of Pesticide Science http://www.nyxxb.cn

·研究论文·

doi: 10.16801/j.issn.1008-7303.2021.0055

1*S*,2*R*-((3-溴苯乙基) 氨基)-*N*-(4-氯-2-三氟甲基苯基) 环己烷基-1-磺酰胺对灰葡萄孢的抑菌活性及作用方式

彭景楠， 张华中， 李常乐， 李兴海， 祁之秋*

(沈阳农业大学 植物保护学院，沈阳 110866)

摘 要：研究了磺酰胺类化合物 1*S*,2*R*-((3-溴苯乙基) 氨基)-*N*-(4-氯-2-三氟甲基苯基) 环己烷基-1-磺酰胺 (代号 SYAUP-CN-26) 的抑菌活性及防治病害的作用方式。结果表明，SYAUP-CN-26 可抑制多种植物病原真菌的菌丝生长和孢子萌发，尤以对灰葡萄孢 *Botrytis cinerea* 的抑制活性较强，EC_{50} 值分别为 1.82 μg/mL 和 14.98 μg/mL。20 μg/mL 的 SYAUP-CN-26 处理能显著降低灰葡萄孢的产孢量、产菌核量，增加单菌核重。经该化合物处理过的灰葡萄孢孢子及菌丝致病力均降低。200 μg/mL 的 SYAUP-CN-26 对番茄灰霉病的保护效果和治疗效果分别为 83.11% 和 47.52%，保护作用优于治疗作用。

关键词: 磺酰胺类化合物；SYAUP-CN-26；灰葡萄孢；抑菌活性；作用方式

中图分类号：S436.412；TQ450.2 **文献标志码：**A **文章编号：**1008-7303(2021)03-0509-06

Antifungal activity of compound 1*S*,2*R*-((3-bromophenethyl)amino)-*N*-(4-chloro-2-trifluoromethylphenyl) cyclohexane-1-sulfonamide against *Botrytis cinerea* and its mode of action

PENG Jingnan, ZHANG Huazhong, LI Changle, LI Xinghai, QI Zhiqiu*

(*College of Plant Protection*, *Shenyang Agricultural University*, *Shenyang* 110866, *China*)

Abstract: The antifungal activity of sulfonamide compound 1*S*, 2*R*-((3-bromophenethyl)amino)-*N*-(4-chloro-2-trifluoromethylphenyl)cyclohexane-1-sulfonamide (SYAUP-CN-26) against *Botrytis cinerea* was determined and its mode of action for controlling diseases was investigated. The results showed that SYAUP-CN-26 inhibited hyphal growth and spore germination of some plant pathogenic fungi, especially for *B. cinerea* with the EC_{50} value of 1.82 μg/mL and 14.98 μg/mL, respectively. The spore production, sclerotic production were reduced significantly，and the single sclerotic weigh was increased significantly under the treatment of 20 μg/mL of SYAUP-CN-26. The pathogenicity of *B. cinerea* treated by SYAUP-CN-26 was significantly lower than that of the control. SYAUP-CN-26 at 200 μg/mL provided control efficacies of 83.11% and 47.52% for protective and curative spraying against tomato gray mold, respectively which showed that SYAUP-CN-26 possessed better protective activity than curative activity.

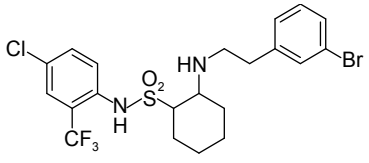
Keywords: sulfonamide compounds; SYAUP-CN-26; *Botrytis cinerea*; antifungal activity; mode of action

收稿日期：2020-07-29；**录用日期：**2020-12-28.

基金项目：国家自然科学基金 (31772187).

作者简介：彭景楠，男，硕士研究生，**E-mail：**pjn941160@163.com；*祁之秋，通信作者 (Author for correspondence)，女，副教授，主要从事农药毒理及抗药性研究，**E-mail：**2001500063@syau.edu.cn

由灰葡萄孢 *Botrytis cinerea* 引起的作物灰霉病是一种世界性病害。随保护地作物栽培面积的扩大，灰霉病的发生日渐严重，给棚式蔬菜生产造成严重损失[1-2]。化学防治仍是控制灰霉病危害的主要措施，但由于长期单一使用杀菌剂及不合理的施药技术，导致灰葡萄孢对二甲酰亚胺类、*N*-苯基氨基甲酸酯类、苯氨基嘧啶类、苯并咪唑类和甲氧基丙烯酸酯类等杀菌剂已产生抗药性[3-7]，因此，开发新型杀菌剂已成为重要方向之一。磺酰胺类化合物是近年来国际上报道的新型杀菌剂类型之一，因其广泛的生物活性而备受关注[8-13]。本课题组合成了环烷基磺酰胺类化合物 SYAUP-CN-26，化学名称为 1*S*,2*R*-((3-溴苯乙基) 氨基)-*N*-(4-氯-2-三氟甲基苯基) 环己烷基-1-磺酰胺，结构式见图式 1。



图式 1 SYAUP-CN-26 的结构式

Scheme 1 Structural formula of SYAUP-CN-26

前期研究发现，SYAUP-CN-26 对灰葡萄孢具有较高抑制活性[14]，能破坏菌体的细胞膜结构[15]，具有潜在的开发前景。本研究进一步明确了该化合物的抑菌谱以及对灰葡萄孢的生物学活性及其作用方式，现将结果报道如下。

1 材料与方法

1.1 供试药剂

SYAUP-CN-26 (纯度 98%)，由沈阳农业大学农药合成实验室提供[16]。将供试化合物溶于丙酮，配制成 10 000 μg/mL 母液备用。

1.2 供试菌株

灰葡萄孢 *Botrytis cinerea*、花生白绢病菌 *Sclerotium rolfsii*、黄瓜枯萎病菌 *Fusarium oxysporum*、黄瓜褐斑病菌 *Corynespora cassiicola*、人参菌核病菌 *Sclerotinia schinseng*、稻瘟病菌 *Pyricularia oryzae*、辣椒疫霉 *Phytophthora capsici*、水稻纹枯病菌 *Rhizoctonia solani* 和人参锈腐病菌 *Cylindrocarpon destructans*，由沈阳农业大学植物病理学实验室及农药科学实验室提供。

1.3 供试培养基

PDA 培养基：马铃薯 200 g，葡萄糖 20 g，琼脂 20 g，蒸馏水 1 L。

V-8 培养基培养：V-8 果汁 200 g，碳酸钙 3 g，琼脂 20 g，蒸馏水 1 L。

1.4 供试作物品种

番茄品种：大粉番茄，温室盆钵培育至 30 片叶片左右供试。

黄瓜品种：津科一号，温室盆钵培育至子叶展开时供试。

1.5 磺酰胺类化合物 SYAUP-CN-26 的抑菌活性

1.5.1 SYAUP-CN-26 对菌丝生长的抑制作用 采用菌丝生长速率法[17] 测定。将供试药剂分别与 PDA 和 V-8 培养基混合均匀，配制含系列质量浓度药剂的培养基平板。用于测定对灰葡萄孢抑制活性的药剂系列质量浓度为 0.625、1.25、2.5、5.0 和 10 μg/mL，用于测定对其余病原菌抑制活性的药剂系列质量浓度为 5、10、20、40 和 80 μg/mL。将预培养的各病原菌菌碟 (直径 5 mm) 接种于平板中央，其中，辣椒疫霉接种于含药 V-8 平板中，其余供试病原菌接种至含药 PDA 平板中。分别以不含药剂的平板作为对照，每处理重复 3 次。于 25 ℃ 下培养，待对照菌丝长至 5~6 cm 时，测量各菌落直径，计算菌丝生长抑制率。将菌丝生长抑制率换算成几率值 (y)，药剂质量浓度换算成浓度对数 (x)，按浓度对数与几率值回归法求得供试药剂对不同病原菌菌丝生长的毒力回归方程 $y = a + bx$、EC_{50} 值、EC_{90} 值和相关系数 (r)。

1.5.2 SYAUP-CN-26 对孢子萌发的抑制作用 采用孢子萌发法[18] 测定。将辣椒疫霉接种于无药 V-8 平板中，其余供试病原菌接种至无药 PDA 平板中，于 25 ℃ 下恒温培养至产孢。用含有吐温-80 的无菌水溶液将孢子冲下，调节孢子浓度为 4 × 10 倍显微镜视野 80~100 个孢子，配制成孢子悬浮液。将孢子悬浮液与系列质量浓度药液等体积混合，配制成含有药剂的孢子悬浮液。分别取 50 μL 该孢子悬浮液滴于凹玻片上。每处理重复 3 次。于 25 ℃ 黑暗保湿培养 10 h，显微镜下观察供试药剂对不同病原菌孢子萌发的影响，计算孢子萌发校正抑制率。将校正抑制率换算成几率值 (y)，药剂质量浓度换算成对数值 (x)，按浓度对数与几率值回归法求得供试药剂对不同病原菌孢子萌发的毒力回归方程 $y = a + bx$、EC_{50} 值、EC_{90} 值和相关系数 (r)。

1.6 SYAUP-CN-26 对灰葡萄孢生物学性状的影响

1.6.1 产孢量 将直径 5 mm 的灰葡萄孢菌碟分别置于含 0、0.625、2.5 和 20 μg/mL 药剂的 PDA 中，于 25 ℃ 下恒温培养至产孢。用打孔器随机打

取经不同质量浓度药剂处理的菌碟，用无菌水冲洗，使孢子尽可能脱落。采用血球计数板记录不同质量浓度药剂处理下孢子的数量[19]。

1.6.2　菌核产量　将灰葡萄孢菌碟分别接种于含 0、0.625、2.5 和 20 μg/mL 药剂的 PDA 平板上，每处理 3 次重复。于 25 ℃ 下培养至对照平板上产生成熟菌核时，统计不同处理培养基上菌核的数量，用镊子和手术刀刮取菌核，自然风干后，称重。

1.6.3　孢子和菌丝致病力　选取长势一致的番茄植株，分别将在含药质量浓度为 EC_{50} 值和 EC_{90} 值的培养基上长出的孢子制成孢子悬浮液 (1×10^6 个/mL)，均匀喷施于番茄叶片上，每处理 20 株重复。于 25 ℃ 及相对湿度 95% 条件下培养。待空白对照发病后，调查病情指数，计算防治效果。

选取长势一致的番茄果实，将在 EC_{50} 值和 EC_{90} 值的含药培养基上长出的菌落制成菌碟，接种于番茄果实上，每处理 20 个重复。于 25 ℃ 及 95% 相对湿度条件下培养，待空白对照发病后，调查病斑直径，计算防治效果[20]。

1.7　SYAUP-CN-26 作用方式研究

1.7.1　保护作用测定　5% SYAUP-CN-26 乳油配制：称取 SYAUP-CN-26 原药 0.5 g，用 3 mL 甲醇溶解后，加入 0.075 g 农乳 500 和 0.425 g 农乳 600，混合均匀，用二甲基亚砜补足至 10 mL。

将 5% SYAUP-CN-26 乳油用水稀释成有效成分质量浓度分别为 100 μg/mL 和 200 μg/mL 药液，均匀喷施于长势一致的番茄植株叶片上，以药液在叶片上悬而未滴为宜。以清水为对照。每处理 20 株重复。自然风干后均匀喷施灰葡萄孢孢子悬浮液 (1×10^6 个/mL)。于 25 ℃ 及相对湿度 95% 条件下培养，待空白对照发病后调查病情指数，计算防治效果。

1.7.2　治疗作用测定　选取长势一致的番茄植株，均匀喷施孢子悬浮液 (1×10^6 个/mL)，24 h 后分别喷施有效成分质量浓度为 100 μg/mL 和 200 μg/mL 药液。以清水为对照。每处理 20 株重复。于 25 ℃ 及相对湿度 95% 条件下培养，待空白对照发病后，调查病情指数，计算防治效果。

1.8　病情分级及防治效果计算

番茄灰霉病发病调查参照陈凤平等的方法[21]。按公式 (1) 计算防治效果。病情分级标准如下：

0 级：无病斑；1 级：病斑面积小于整个叶面积的 5%；3 级：病斑面积大于等于 5%，小于 10%；5 级：病斑面积大于等于 10%，小于 20%；7 级：病斑面积大于等于 20%，小于 50%；9 级：病斑面积大于等于 50%。

$$I_D = \frac{\sum (N_n \times n)}{N_t \times 9} \times 100 \tag{1}$$

$$P/\% = \frac{I_{DCK}(\text{或}D_{CK}) - I_{DPT}(\text{或}D_{PT})}{I_{DCK}(\text{或}D_{CK})} \times 100 \tag{2}$$

（1）式中：I_D 为病情指数；N_n 为各级病株数；n 为相对级数值；N_t 为调查总株数。(2) 式中：P 为防治效果，%；I_{DCK}（或 D_{CK}）病斑直径为对照组病情指数（或病斑直径，cm）；I_{DPT}（或 D_{PT}）为处理组病情指数（或病斑直径，cm）。

2　结果与分析

2.1　SYAUP-CN-26 的抑菌活性

测定结果 (表 1 和表 2) 表明：磺酰胺类化合物 SYAUP-CN-26 对供试 9 种植物病原菌的菌丝生长和产孢菌的孢子萌发均有抑制作用，其中对

表 1　化合物 SYAUP-CN-26 对植物病原真菌菌丝生长的抑制作用

Table 1　Inhibition of SYAUP-CN-26 to plant pathogenic fungi

病原菌 Pathogens	毒力回归方程 Regression equation	相关系数 r	EC_{50} 值 (95% 置信限) EC_{50} value (95% confidence interval)/(μg/mL)	EC_{90} 值 (95% 置信限) EC_{90} value (95% confidence interval)/(μg/mL)
灰葡萄孢 *Botrytis cinerea*	$y = 4.6762 + 1.2473x$	0.9766	1.82(1.44~2.30)	19.25(15.29~24.56)
花生白绢病菌 *Sclerotium rolfsii*	$y = 3.4545 + 1.4012x$	0.9988	12.68(10.62~16.17)	104.1(81.39~123.9)
人参菌核病菌 *Sclerotinia schinseng*	$y = 3.2997 + 1.2412x$	0.9810	23.43(18.60~29.38)	251.3(200.5~316.8)
人参锈腐病菌 *Cylindrocarpon destructans*	$y = 3.1496 + 1.2051x$	0.9926	34.30(26.42~44.55)	395.8(306.4~516.7)
黄瓜褐斑病菌 *Corynespora cassiicola*	$y = 3.3073 + 1.0969x$	0.9365	35.02(26.30~46.26)	487.9(387. 5~681. 6)
水稻纹枯病菌 *Rhizoctonia solani*	$y = 3.9120 + 0.6847x$	0.9444	38.82(24.28~62.27)	2 830(2 197~3 609)
黄瓜枯萎病菌 *Fusarium oxysporum*	$y = 2.9421 + 1.2138x$	0.9806	49.61(36.60~67.17)	558.6(416.1~763.6)
稻瘟病菌 *Pyricularia oryzae*	$y = 3.5202 + 0.8721x$	0.9919	49.76(32.65~75.88)	1 465(960.4~2 232)
辣椒疫霉 *Phytophthora capsici*	$y = 3.3482 + 0.9451x$	0.9754	55.91(34.50~83.21)	1 258(873.9~1 534)

表 2 化合物 SYAUP-CN-26 对病原菌孢子萌发的抑制作用

Table 2 Inhibition of SYAUP-CN-26 to spore germination of fungi

病原菌 Pathogens	毒力回归方程 Regression equation	相关系数 r	EC_{50} 值 (95% 置信限) EC_{50} value (95% confidence interval)/(μg/mL)	EC_{90} 值 (95% 置信限) EC_{90} value (95% confidence interval)/(μg/mL)
灰葡萄孢 *B. cinerea*	$y = 3.7174 + 1.0910x$	0.9955	14.98(12.21~18.31)	223.8(183.8~276.2)
黄瓜枯萎病菌 *F. oxysporum*	$y = 1.7856 + 1.8078x$	0.9796	59.80(47.98~75.24)	298.5(234.4~367.6)
黄瓜褐斑病菌 *C. cassiicola*	$y = 3.2106 + 1.1586x$	0.9857	35.06(28.80~43.73)	447.1(386.5~493.5)
人参锈腐病菌 *C. destructans*	$y = 3.6072 + 0.8177x$	0.9885	50.52(42.37~61.42)	1860(1574~2368)
稻瘟病菌 *P. oryzae*	$y = 2.8696 + 1.4464x$	0.9695	29.85(23.28~39.98)	221.8(193.7~253.9)
辣椒疫霉 *P. capsici*	$y = 2.2174 + 2.0450x$	0.9942	22.97(18.75~28.65)	175.4(123.5~212.6)

灰葡萄孢的菌丝生长和孢子萌发抑制作用较好，EC_{50} 值分别为 1.82 μg/mL 和 14.98 μg/mL，对其他 8 种病原菌的菌丝生长和 5 种病原菌的孢子萌发的抑制作用略差，EC_{50} 值分别在 12.68~55.91 μg/mL 和 22.97~59.80 μg/mL 之间。

2.2 SYAUP-CN-26 对灰葡萄孢产孢量和产菌核量的影响

结果 (表 3) 表明：SYAUP-CN-26 对灰葡萄孢产孢量的抑制作用随其质量浓度的增加而增强，当其质量浓度达到 20 μg/mL 时，灰葡萄孢菌不产孢；当其质量浓度低于 2.5 μg/mL 时，对灰葡萄孢菌核产量无影响，但当其质量浓度达到 20 μg/mL 时，菌核产量显著降低；单菌核质量随 SYAUP-CN-26 质量浓度的增加而显著提高。

表 3 SYAUP-CN-26 对灰葡萄孢孢子及菌核产量的影响

Table 3 Effect of SYAUP-CN-26 on sporulation and sclerotium formation of *B. cinerea*

质量浓度 Concentration/(μg/mL)	孢子产量 Sporulation/(10^6 个/mL)	菌核个数 Number of sclerotiarotia	单个菌核质量 Mass of sclerotia/mg
CK	3.75 a	106.6 a	2.69 a
0.625	3.25 b	107.0 a	2.93 b
2.5	0.67 c	112.6 a	3.33 c
20	0 d	82.6 b	4.91 d

注：表中同列数据后标相同小写字母者表示经 Duncan 氏新复极差测验，在 $P = 0.05$ 水平上差异不显著。

Note: Data in a column followed by the same letters are not significantly different at $P = 0.05$ by Duncan's multiple range test, respectively.

2.3 SYAUP-CN-26 对灰葡萄孢致病力的影响

结果表明：分别经 1.82 μg/mL(EC_{50} 值) 和 19.25 μg/mL(EC_{90} 值) 药液处理后的灰葡萄孢的菌丝及其产生的孢子引起番茄果实和叶片的发病程度均显著低于未用药剂处理的菌丝和孢子 (表 4，图 1)，表明 SYAUP-CN-26 抑制了灰葡萄孢的菌丝生长和孢子萌发，从而显著降低菌丝和孢子的致病力。

表 4 磺酰胺类化合物 SYAUP-CN-26 对灰葡萄孢致病力的影响

Table 4 The pathogenicity of *B. cinerea* treated by SYAUP-CN-26

质量浓度 Concentration/(μg/mL)	菌丝 Hyphal		分生孢子 Conidium	
	病斑直径 Lesion diameter/mm	抑制率 Inhibition rate/%	病情指数 Disease index	抑制率 Inhibition rate/%
CK	10.35 a	—	64.67 a	—
1.82	8.70 b	15.94	59.67 b	7.73
19.25	7.30 c	29.47	47.76 c	26.15

注：表中同列数据后标相同小写字母者表示经 Duncan 氏新复极差测验，在 $P = 0.05$ 水平上差异不显著。

Note: Data in a column followed by the same letters are not significantly different at $P = 0.05$ by Duncan's multiple range test, respectively.

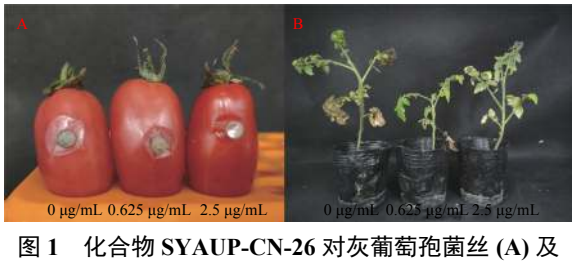


图 1 化合物 SYAUP-CN-26 对灰葡萄孢菌丝 (A) 及灰葡萄孢孢子 (B) 致病力的影响

Fig. 1 The pathogenicity of *B. cinerea* mycelia (A) and spore treated (B) by SYAUP-CN-26

2.4 SYAUP-CN-26 的作用方式

随着化合物 SYAUP-CN-26 质量浓度的升高，其对于灰霉病的保护作用和治疗作用均得到增强 (表 5、图 2)，当药剂质量浓度为 200 μg/mL 时，保护作用的防效达到 83.11%、治疗作用的防效达 47.52%，保护作用优于治疗作用。

表 5　SYAUP-CN-26 对番茄灰霉病的保护与治疗作用

Table 5　Protective and curative effects of SYAUP-CN-26 against tomato gray mold

质量浓度 Concentration/ (μg/mL)	保护作用 Protective effect		治疗作用 Curative effect	
	病情指数 Disease index	防治效果 Control efficacy/%	病情指数 Disease index	防治效果 Control efficacy/%
CK	61.41	—	63.67	—
100	33.99	44.65 b	46.21	27.31 b
200	10.37	83.11 a	33.37	47.52 a

注:表中同列数据后标相同小写字母者表示经 Duncan 氏新复极差测验，在 $P = 0.05$ 水平上差异不显著。

Note: Data in a column followed by the same letters are not significantly different at $P = 0.05$ by Duncan's multiple range test, respectively.

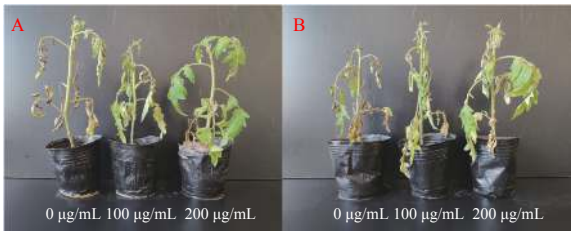


图 2　SYAUP-CN-26 对番茄灰霉病的保护 (A) 和治疗 (B) 作用

Fig. 2　Protective (A) and curative (B) effects of SYAUP-CN-26 against tomato gray mold

3　结论

灰葡萄孢以菌丝体、菌核和分生孢子在土壤或病残体中越冬，翌年条件适宜时，菌丝体或菌核产生分生孢子，通过气流、风雨及农事操作等途径在植株上传播。病斑上形成的大量分生孢子可再侵染，引起田间病害的扩展和蔓延[22-23]。本研究结果显示，磺酰胺类化合物 SYAUP-CN-26 对灰葡萄孢的菌丝生长和孢子萌发均具有较好的抑制作用，这与其他磺酰胺类化合物如苯甲酰基甲磺酰胺类化合物[24]、*N*-(2,4,5-三氯苯基)-2-氧代环己烷基磺酰胺化合物[25] 及 *N*-(2-三氟甲基-4-氯苯基)-2-吡唑酰氨基环己烷基磺酰胺类化合物等相似[26]。SYAUP-CN-26 可降低灰葡萄孢的菌核和孢子产量，进而减少病害发生的初侵染和再侵染的菌源基数，从而控制病害的发生和传播。对于灰霉病已经发生的植株，经该化合物处理后，可以通过抑制菌丝和孢子的生长和致病力来减少灰葡萄孢的再侵染，这将有利于灰霉病的防治。SYAUP-CN-26 兼有保护作用和治疗作用，其中保护作用优于治疗作用，因此，生产中使用该化合物防治灰霉病时建议以保护性施药为主，减施增效，以提高药剂的防治效果。

综合来看，磺酰胺类化合物 SYAUP-CN-26 对灰葡萄孢菌各发育阶段及致病力都有较好的抑制作用，具有进一步研究开发的价值。

参考文献 (References):

[1] 戴卓男, 苗晗, 李宝聚, 等. 黄瓜抗灰霉病育种研究进展[J]. 中国蔬菜, 2020(7): 15-23.
DAI Z N, MIAO H, LI B J, et al. Research progress on cucumber breeding with resistance to grey mould[J]. China Veg, 2020(7): 15-23.

[2] 纪军建, 张小风, 王文桥. 番茄灰霉病菌对咯菌腈的抗性诱变及抗药突变体的生物学特性[J]. 农药学学报, 2012, 14(5): 497-502.
JI J J, ZHANG X F, WANG W Q. Induced mutation of *Botrytis cinerea* resistant to fludioxonil and biological characteristics of resistant mutants[J]. Chin J Pestic Sci, 2012, 14(5): 497-502.

[3] FARETRA F, POLLASTRO S. Genetic basis of resistance to benzimidazole and dicarboximide fungicides in *Botryotinia fuckeliana* (*Botrytis cinerea*)[J]. Mycol Res, 1991, 95(8): 943-951.

[4] POMMER E H, LORENZ G. Resistance of *Botrytis cinerea* Pers. to dicarboximide fungicides: a literature review[J]. Crop Prot, 1982, 1(2): 221-230.

[5] CHAPELAND F, FRITZ R, LANEN C, et al. Inheritance and mechanisms of resistance to anilinopyrimidine fungicides in *Botrytis cinerea* (*Botryotinia fuckeliana*)[J]. Pestic Biochem Physiol, 1999, 64(2): 85-100.

[6] JIANG J H, DING L S, MICHAILIDES T J, et al. Molecular characterization of field azoxystrobin-resistant isolates of *Botrytis cinerea*[J]. Pestic Biochem Physiol, 2009, 93(2): 72-76.

[7] MICCOLIS ANGELINI R M, HABIB W, ROTOLO C, et al. Selection, characterization and genetic analysis of laboratory mutants of *Botryotinia fuckeliana* (*Botrytis cinerea*) resistant to the fungicide boscalid[J]. Eur J Plant Pathol, 2010, 128(2): 185-199.

[8] 王美怡, 李正名. 新型 2-甲氧羰基-5-芳甲亚胺基苯磺酰胺的合成及其生物活性[J]. 合成化学, 2012, 20(1): 65-68.
WANG M Y, LI Z M. Synthesis and bioactivities of novel 2-methoxycarbonyl-5-arylazomethine benzenesulfonamide[J]. Chin J Synth Chem, 2012, 20(1): 65-68.

[9] COX S D, MANN C M, MARKHAM J L, et al. Determining the antimicrobial actions of tea tree oil[J]. Molecules, 2001, 6(2): 87-91.

[10] TRUMPOWER B L, GENNIS R B. Energy transduction by cytochrome complexes in mitochondrial and bacterial respiration: the enzymology of coupling electron transfer reactions to transmembrane proton translocation[J]. Annu Rev Biochem, 1994, 63: 675-716.

[11] TANAKA S, KOCHI S I, KUNITA H, et al. Biological mode of action of the fungicide, flusulfamide, against *Plasmodiophora brassicae* (clubroot)[J]. Eur J Plant Pathol, 1999, 105(6): 577-584.

[12] MITANI S, ARAKI S, YAMAGUCHI T, et al. Antifungal activity of the novel fungicide cyazofamid against *Phytophthora infestans* and other plant pathogenic fungi *in vitro*[J]. Pestic Biochem Physiol, 2001, 70(2): 92-99.

[13] HONDA T, HASUNUMA N, TANAKA A, et al. Characteristics of amisulbrom as a foliar use fungicide on Oomycetes disease[R]. PPO-

Special Report No. 13. Proceedings of the Eleventh EuroBlight workshop. Hamar, Norway, 28-31, 10, 2008.269-274.

[14] CAI N, LIU C X, FENG Z H, et al. Design, synthesis, and SAR of novel 2-glycinamide cyclohexyl sulfonamide derivatives against *Botrytis cinerea*[J]. Molecules, 2018, 23(4): E740.

[15] PENG J N, WANG K, FENG T Y, et al. The effect of (1*S*, 2*R*-((3-bromophenethyl)amino)-*N*-(4-chloro-2-trifluoromethylphenyl) cyclohexane-1-sulfonamide) on *Botrytis cinerea* through the membrane damage mechanism[J]. Molecules, 2019, 25(1): 94.

[16] CAI N, HE L, WANG K, et al. Novel sulfonamides against *Botrytis cinerea* with no positive cross-resistance to commercial fungicides: design, synthesis and SAR study[J]. Bioorg Med Chem Lett, 2020, 30(4): 126859.

[17] 祁之秋, 鞠雪娇, 纪明山, 等. 辽宁省稻瘟病菌对咪鲜胺敏感基线的建立[J]. 农药学学报, 2012, 14(6): 673-676.
QI Z Q, JU X J, JI M S, et al. Sensitive baseline of *Magnaporthe grisea* to prochloraz in Liaoning Province[J]. Chin J Pestic Sci, 2012, 14(6): 673-676.

[18] 陈雨, 张文芝, 周明国. 氰烯菌酯对禾谷镰孢菌分生孢子萌发及菌丝生长的影响[J]. 农药学学报, 2007, 9(3): 235-239.
CHEN Y, ZHANG W Z, ZHOU M G. Effects of JS399-19 on conidial germination and mycelial growth of *Fusarium graminearum*[J]. Chin J Pestic Sci, 2007, 9(3): 235-239.

[19] SANG C W, REN W C, WANG J J, et al. Detection and fitness comparison of target-based highly fludioxonil-resistant isolates of *Botrytis cinerea* from strawberry and cucumber in China[J]. Pestic Biochem Physiol, 2018, 147: 110-118.

[20] JI D C, CHEN T, MA D Y, et al. Inhibitory effects of methyl thujate on mycelial growth of *Botrytis cinerea* and possible mechanisms[J]. Postharvest Biol Technol, 2018, 142: 46-54.

[21] 陈凤平, 韩平, 张真真, 等. 啶菌噁唑对番茄灰霉病菌的抑菌作用研究[J]. 农药学学报, 2010, 12(1): 42-48.
CHEN F P, HAN P, ZHANG Z Z, et al. Studies on antifungal activity of fungicide 5-(4-chlorophenyl)-2, 3-dimethyl-3-(pyridine-3)-oxazoline aganist *Botrytis cinerea*[J]. Chin J Pestic Sci, 2010, 12(1): 42-48.

[22] ESSGHAIER B, FARDEAU M L, CAYOL J L, et al. Biological control of grey mould in strawberry fruits by halophilic bacteria[J]. J Appl Microbiol, 2009, 106(3): 833-846.

[23] 赵杨, 苗则彦, 李颖, 等. 番茄灰霉病防治研究进展[J]. 中国植保导刊, 2014, 34(7): 21-29.
ZHAO Y, MIAO Z Y, LI Y, et al. Research progress on controlling against tomato gray mold[J]. China Plant Prot, 2014, 34(7): 21-29.

[24] 李兴海, 祁之秋, 钟昌继, 等. 苯甲酰基甲磺酰胺的合成与杀菌活性[J]. 农药学学报, 2008, 10(2): 136-140.
LI X H, QI Z Q, ZHONG C J, et al. The synthesis and fungicidal activity of benzoyl methanesulfonamides[J]. Chin J Pestic Sci, 2008, 10(2): 136-140.

[25] 祁之秋, 孙青彬, 李兴海, 等. *N*-(2,4,5-三氯苯基)-2-氧代环己烷基磺酰胺对灰葡萄孢的抑制作用[J]. 农药学学报, 2014, 16(5): 523-528.
QI Z Q, SUN Q B, LI X H, et al. Inhibitory effect of *N*-(2,4,5-trichlorophenyl)-2-oxocyclohexylsulfonamide against *Botrytis cinerea* [J]. Chin J Pestic Sci, 2014, 16(5): 523-528.

[26] 孟司奇, 杨永贵, 纪明山, 等. *N*-(2-三氟甲基-4-氯苯基)-2-吡唑酰氨基环己烷基磺酰胺类化合物的合成与杀菌活性[J]. 农药学学报, 2018, 20(5): 568-576.
MENG S Q, YANG Y G, JI M S, et al. Synthesis and fungicidal activity of *N*-(2-trifluoromethyl-4-chlorophenyl)-2-pyrazoleamide cyclohexylsulfonamides[J]. Chin J Pestic Sci, 2018, 20(5): 568-576.

(责任编辑: 金淑惠)