

• 研究论文 •

嘧霉胺对采后柑橘绿霉病的防治效果

姜丽英², 陈国庆^{1a 1b}, 施品忠², 徐法三², 李红叶^{* 1a 1b}

(1. 浙江大学 a 生物技术研究所, b 农业部作物病虫分子生物学开放重点实验室, 杭州 310029;

2 浙江省衢州市农业局, 浙江 衢州 324000)

摘要: 在实验室和贮藏库条件下, 对嘧霉胺单剂、嘧霉胺与抑霉唑或嘧霉胺和咪鲜胺混剂防治柑橘绿霉病的效果进行了评价。室内实验结果表明: 采用 500 或 1 000 mg/L 嘧霉胺单剂、500 mg/L 嘧霉胺 + 500 mg/L 抑霉唑或 500 mg/L 嘧霉胺 + 500 mg/L 咪鲜胺混剂在接种后 12~18 h 进行浸果处理, 对由抑霉唑抗性或敏感菌株引起的绿霉病均有显著的防治效果, 防效超过 94%; 500 或 1 000 mg/L 的抑霉唑对敏感菌株的防效在 93% 以上, 但对抗性菌株的防效低于 70%。贮藏库防效试验结果表明: 在具抑霉唑抗性菌系的贮藏库中, 上述质量浓度的嘧霉胺单剂、嘧霉胺与抑霉唑、或嘧霉胺与咪鲜胺混剂对绿霉病的防治效果明显优于抑霉唑单剂; 而在不具抗抑霉唑菌系贮藏库中的防效则与抑霉唑相当。由此认为: 嘧霉胺可作为抑霉唑的替代药剂应用于柑橘的采后处理, 其推荐使用质量浓度为 500~1 000 mg/L, 可单独使用, 也可与抑霉唑或咪鲜胺混合使用。

关键词: 柑橘绿霉病; 抑霉唑抗性; 嘧霉胺; 防治效果

DOI 10.3969/j.issn.1008-7303.2010.02.06

中图分类号: S481.9 文献标志码: A 文章编号: 1008-7303(2010)02-0149-06

Efficacy of pyrimethanil in controlling green mould of postharvest citrus

JIANG Li-ying², CHEN Guo-qing^{1a 1b}, SHI Pin-zhong², XU Fa-san², LI Hong-ye^{* 1a 1b}

(1a Institute of Biotechnology, 1b Key Laboratory of Molecular Biology of Crop Pathogens and Insects

Ministry of Agriculture, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China;

2 Agriculture Bureau of Quzhou City, Quzhou 324000, Zhejiang Province, China)

Abstract The efficacy of pyrimethanil alone, pyrimethanil-inazalil or pyrimethanil-prochloraz mixtures were evaluated in controlling the green mould of postharvest citrus both under the conditions of laboratory and farmer's storage houses. In laboratory, aqueous fungicide solutions were applied by soaking citrus 12 to 18 h after inoculation. Pyrimethanil alone (at 500 or 1 000 mg/L), pyrimethanil-inazalil or pyrimethanil-prochloraz mixtures (at 500+500 mg/L) showed higher than 94% efficacy in controlling green mould regardless of the inoculation with inazalil-resistant or inazalil-sensitive isolates, whereas inazalil alone (at 500 or 1 000 mg/L) was poorly effective in controlling inazalil-resistant isolate. In practical application experiments in three-farmer storages done in 2007 and 2008, pyrimethanil alone, pyrimethanil-inazalil or pyrimethanil-prochloraz mixtures at above concentrations

收稿日期: 2009-12-09 修回日期: 2010-01-18

作者简介: 姜丽英 (1960-), 女, 浙江衢州市人, 高级农艺师, 从事植物保护技术推广和培训, E-mail jly@nj110.net* 通讯作者 (Author for correspondence); 李红叶 (1963-), 浙江缙云县人, 教授, 从事植物病理学研究和教学, 电话: 0571-86971328 E-mail hyl@zju.edu.cn

基金项目: 浙江省科技计划项目 (2007C22007, 2008C3202); 国家现代农业 (柑橘) 产业技术体系专项经费 (MATS)。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

performed higher efficacy than imazalil alone at same concentrations in the storage house where the imazalil-resistant isolate had been detected, but at similar controlling level in storage where the imazalil-resistant isolate had never been detected. In conclusion, pyrimethanil could be used to replace imazalil for controlling citrus green mould. It could be used as a single solution or mixtures of pyrimethanil-imazalil or pyrimethanil-prochloraz, at concentration of above 500 mg/L.

Key words citrus green mould; imazalil resistance; pyrimethanil controlling efficacy evaluation

柑橘绿霉病是柑橘贮藏期的主要病害,若不进行防治,常规年份可引起 20%~30% 以上采收柑橘腐烂。椪柑和胡柚是浙江衢州柑橘的主要品种,具有很好的耐贮藏性。近 20 年来,当地一直推广使用咪唑类杀菌剂抑霉唑或咪鲜胺处理果实,以预防在贮藏、运输和销售过程中由绿霉病引起的烂果问题。但是,自 2000 年以来,抑霉唑和咪鲜胺防治效果下降甚至失效的事件在衢州时有发生。例如,衢江区云溪乡梅坞村吴志刚农户 2007 年 11 月 19 日前后采收的椪柑,在田间已经过 300 mg/L 的抑霉唑 (22.2% EC, 美国先农有限公司) 和 667 mg/L 的咪鲜胺 (25% EC, 德国拜耳作物科学公司) 处理,到 2008 年 3 月 14 日调查发现由绿霉病 (包括少量青霉病) 引起的烂果率高达 55%。随机挑取 40 个病果上的孢子粉进行实验室培养,发现这些菌株对抑霉唑和咪鲜胺的 EC_{50} 值均超过 2.0 mg/L,是无用药史地区 (开化县) 的 20 倍以上 (未发表),由此推断,衢江区的柑橘主产区已经存在抑霉唑和咪鲜胺的抗性菌系,柑橘安全贮藏已经受到严重威胁。

美国和以色列早已报道了抗抑霉唑的柑橘绿霉病菌菌系形成和种群增长情况,以及由此带来的抑霉唑防治效果下降问题^[1-4],中国早在 2000 年也有发现^[5]。为应对抑霉唑的抗药性问题,美国已筛选并完成了嘧霉胺 (pyrimethanil)、嘧菌酯 (azoxystrobin) 和氟啶菌腈 (fludioxonil) 等 3 种杀菌剂在采后柑橘上使用的登记^[6-8]。在中国,柑橘绿霉病菌种群对咪唑类杀菌剂的抗药性问题、以及替代杀菌剂筛选和使用技术问题还极少受到关注和研究^[5]。为此,笔者就嘧霉胺对柑橘绿霉病的防治效果进行了评价,结果总结如下。

1 材料和方法

1.1 供试菌株

柑橘绿霉病菌 *Penicillium digitatum*: 抑霉唑抗性菌株 Pd-QZ16 ($EC_{50} = 1.13$ mg/L) 为 2007 年于衢州椪柑病果上分离获得; 抑霉唑敏感菌株 Pd23

($EC_{50} = 0.066$ mg/L) 为 2000 年于杭州市场病果上分离获得,保存于 4℃ PDA 培养基上。

1.2 供试药剂

22.2% 抑霉唑 (imazalil 戴挫霉) 乳油 (美国先农有限公司); 25% 咪鲜胺 (prochloraz 施保克) 乳油和 40% 嘧霉胺 (pyrimethanil 施佳乐) 悬浮剂 (德国拜耳作物科学有限公司产品); 25% 嘧菌酯 (azoxystrobin 阿米西达) 悬浮剂 [先正达 (中国) 投资有限公司]。以上药剂均从市场上购买。

1.3 试验用果实

品种为椪柑 *Citrus reticulata* Blanco, 直接采自衢州果园,成熟度约为 80%,果面已转色。采摘前 30 d 未喷施任何农药,采摘后经质量浓度为 0.1% 的次氯酸钠消毒处理 2 min,再经清水冲洗后晾干,于室温下贮藏备用。试验果实大小均匀,无伤,无病虫害斑痕。

1.4 接菌后浸果处理防效评价

试验分别于 2007 和 2008 年在浙江大学生物技术研究所 (杭州) 和 2007 年在衢州市农业信息和教育中心 (衢州) 进行。将在 PDA 培养基上培养 7 d 的柑橘绿霉病菌分生孢子配成 1×10^6 个/mL 的悬浮液,将 6 根大头针捆成一捆,蘸取少量分生孢子悬浮液,刺伤果实 (约 1 mm 深) 进行接种后,将果实于室温下放置 12~18 h,然后将其在设定浓度的药液中浸泡 1 min,对照用清水浸泡,取出后自然晾干,装入纸箱内,密封,于室内常温下贮藏。每处理重复 4 次。在杭州的试验为每重复 30 个柑橘果实,在衢州的试验为每重复 80 个果实。杭州试验分别在 7 d (2007 年) 和 14 d (2008 年)、衢州试验在 7 d 后观察统计发病率,计算防治效果。

1.5 实际贮藏防效评价

试验分别于 2007 和 2008 年在衢州进行,品种均为椪柑。2007 年 11 月 21 日在衢州市柯城区万田乡冯家村姜文言农户处 (未检测到抑霉唑抗性菌系) 进行,共设 4 个处理。在柑橘园里边采果边用药液浸果,浸果时间为 1 min,每处理重复 4 次,每重复 250 个果实。晾干后装入木筐内,室内常温预贮

10 d后用椪柑专用保鲜袋单果包装, 置木箱中, 常温下贮藏 120 d后进行防效检查, 记载每筐内有绿霉的烂果数。

2008年的试验 分别在衢州市柯城区万田乡冯家村冯炳良农户处 (未检测到抑霉唑抗性菌系) 和衢州市衢江区云溪乡梅坞村吴志刚农户处 (检测到抑霉唑抗性菌系) 进行。冯炳良农户的果实于 2008 年 11月 13日采摘, 当晚浸果, 方法同上, 共设 6个处理, 每处理设 3次重复, 每重复 250个果实; 吴志刚农户果实于 2008 年 11月 25日采摘, 当晚浸果, 方法同上, 共设 9个处理, 每处理重复 4次, 每个重复 250个果实。果实浸药后装入木筐内, 室内常温预贮 20 d后单果包装, 常温下贮藏, 贮藏 120 d后进行防效检查, 记载每筐内有绿霉的烂果数。

1 6 数据分析

数据采用 Duncan氏方法处理。

2 结果与分析

2 1 果实接种后浸药处理的防效

在实验室进行接种的条件下, 抑霉唑和啞霉胺对抑霉唑抗性菌株和敏感菌株的防治效果见表 1。接种后 7 d 500 mg/L 啞霉胺 (Pyr 500) 或 1 000 mg/L 啞霉胺 (Pyr 1 000), 以及 Pyr 500+ 500 mg/L 抑霉唑 (Inz 500)对由抑霉唑敏感或抗性菌株接种引起的绿霉病均有 94% 以上的防治效果。25Q 500和 1 000 mg/L 抑霉唑 (Inz 25Q Inz 500和 Inz 1 000)对由抑霉唑敏感菌株接种所致绿霉病的防效也均高于 87. 8%, 对由抗抑霉唑菌株 Pd-QZ16 接种所致绿霉病的防治效果分别只有 30%, 53. 3% 和 70%。

表 1 啞霉胺和抑霉唑对由抑霉唑敏感和抗性菌株接种所致绿霉病的防治效果*

Table 1 Efficacy of imazalil and pyrimethanil in controlling citrus green mould inoculated by imazalil-resistant and imazalil-sensitive isolates of *Penicillium digitatum* *

药剂和质量浓度 Fungicides and concentrations /(mg/L)	敏感菌株 (Pd23) Imazalil-sensitive isolate		抗性菌株 (PdQZ16) Imazalil-resistant isolate	
	发病率 Incidence %	防效 Efficacy %	发病率 Incidence %	防效 Efficacy %
Inz 250	12. 2	87. 8 a	70. 0	30. 0 d
Inz 500	6. 7	93. 3 a	46. 7	53. 3 c
Inz 1 000	2. 2	97. 8 a	30. 0	70. 0 b
Pyr 500	5. 2	94. 8 a	6. 0	94. 0 a
Pyr 1 000	5. 0	95. 0 a	4. 0	96. 0 a
Pyr 500+ Inz 500	5. 0	95. 0 a	4. 0	96. 0 a
对照 CK (清水 Water)	100	0 b	100	0 e

* 试验于 2007 年 12月在浙江大学生物技术研究所 (杭州) 进行, 于接种后 7 d统计效果; Inz 抑霉唑, Pyr 啞霉胺; 防效平均值后字母相同者表示差异不显著 (P>0. 05)。

* The experiment was carried out at Hangzhou Institute of Biotechnology, Zhejiang Univ. in Dec, 2007. Inz: imazalil, Pyr: pyrimethanil. The controlling efficacy was calculated 7 days post inoculation (7dpi). Means followed with the same letter are not significantly different (P>0. 05).

2007年在衢州较大规模 (每重复 80个果实) 的试验进一步证明, Inz 500或同为咪唑类杀菌剂的 500 mg/L 咪唑胺 (Pro 500)对抑霉唑抗性菌株的防治效果低于 10% (表 2)。而 Pyr 500或 Pyr 500+ Inz 200混剂或 Pyr 500+ Pro 300混剂对由抑霉唑抗性菌株引起的绿霉病有 92. 5% 以上的防治效果。类似的结果在 2008年杭州试验中得到进一步证实 (表 2)。但 Pyr 250单剂或 Pyr 250+ Inz 250混剂的防效低于 72. 4%, 效果较差, 说明啞霉胺无论单用或与抑霉唑混用, 质量浓度必须高于 500 mg/L (表 2)。

2 2 2007年实际贮藏防效评价

经药剂处理后贮藏 120 d, 记录由各类病害引起的烂果率和总烂果率。结果发现: 病害以绿霉病为主 (90% 以上), 由青霉病引起的烂果极少, 其他病害有褐色蒂腐病、炭疽病、黑腐病和少量的灰霉病。由于本试验的目的是评价对绿霉病的防效, 故将青、绿霉以外的其他病果剔除, 不计入发病率中, 将少量的青霉病病果计入绿霉病, 统计发病率。结果表明, 贮藏 120 d Pyr 50Q Inz 400和 Pyr 500+ Inz 200混剂对青、绿霉病的平均防效分别为 91. 4%, 92. 5% 和 96. 7%, 3种处理间无显著性差异 (表 3)。

表 2 三种杀菌剂对由抑霉唑抗性菌株接种所致绿霉病的防治效果
Table 2 Efficacies of three fungicides for controlling citrus green mould inoculated by
in azali-resistant P. digitatum

杭州 2008* (Hangzhou 2008)			衢州 2007 (Q uzhou 2007)		
药剂及质量浓度 Fungicides and mass concentrations/ (mg/L)	发病率 Incidence %	防效 Efficacy %	药剂及质量浓度 Fungicides and mass concentrations/ (mg/L)	发病率 Incidence %	防效 Efficacy %
Im z 250	98.9	1 1 d	Im z 500	94.4	5.6 b
Im z 500	94.4	5.6 d	Pro 500	90.6	9.4 b
Im z 1 000	80.0	20.0 c	Pyr 500	5.0	95.0 a
Pyr 250	38.5	61.5 b	Pyr 500+ Im z 200	7.5	92.5 a
Pyr 500	7.5	92.5 a	Pyr 500+ Pro 300	7.2	92.8 a
Pyr 1 000	1.1	98.9 a	对照 CK (清水 Water)	100	0 b
Pyr 250+ Im z 250	27.6	72.4 b			
Pyr 500+ Im z 500	1.9	98.1 a			
对照 CK (清水 Water)	100	0 d			

* 在杭州的试验于接种后 14 d统计防治效果;在衢州的试验于接种 7 d后统计防治效果。Im z 抑霉唑, Pyr 啞霉胺, Pro 咪鲜胺。防效平均值后字母相同者表示差异不显著 (P> 0.05)。
* The controlling efficacies were calculated at 14 dpi in Hangzhou and at 7 dpi in Q uzhou. Im z: imazalil; Pyr: pyrimethanil; Pro: prochloraz. Means followed with the same letter are not significantly different (P> 0.05).

表 3 啞霉胺和抑霉唑对柑橘绿霉病的
实际防效评价 (2007)*
Table 3 Efficacy of pyrimethanil and imazalil for
controlling citrus green mould under
practical application (2007)*

药剂及质量浓度 Fungicides and mass concentrations/(mg/L)	烂果率 Incidence %	防效 Efficacy %
Pyr 500	0.450	91.4 a
Im z 400	0.325	92.5 a
Pyr 500+ Im z 200	0.175	96.7 a
清水 (Water)	5.225	0 b

* Im z 抑霉唑 (imazalil); Pyr 啞霉胺 (pyrimethanil)。防效平均值后字母相同者表示差异不显著 (P> 0.05)。
* Means followed with the same letter are not significantly different (P> 0.05).

表 4 啞霉胺、抑霉唑及其混剂在实际贮藏过程中对柑橘绿霉病的防效 (2008)*
Table 4 Efficacy of pyrimethanil, imazalil and the mixtures of these fungicides for
controlling citrus green mould (2008)*

试验农户 Households where the experiments carried	药剂及质量浓度 Fungicides and mass concentrations/(mg/L)	发病率 Incidence %	防效 Efficacy %
吴志刚 WU Zhigang	Pyr 500	1.9	90.6 a
	Pyr 1 000	1.0	95.1 a
	Im z 300	10.9	46.3 c
	Im z 500	9.4	53.7 bc
	Im z 1 000	4.0	80.3 ab
	Pyr 500+ Im z 500	0.9	95.6 a
	对照 CK (清水 Water)	20.3	0 d

2.3 2008年实际贮藏防效评价
两个农户贮藏的果实出现烂果的病因均以绿霉病为主,由青霉病引起的烂果极少,数据处理与2007年的试验相同。吴志刚农户处的结果表明:处理后贮藏 120 d, Pyr 1 000Q, Pyr 500+ Im z 500 2个处理对绿霉病的平均防效分别为 95.1%和 95.6%,高于其他处理, Pyr 500的平均防效为 90.6%; Im z 1 000Q, Im z 500和 Im z 300的平均防效分别为 80.3%, 53.7%和 46.3%,随浓度下降而降低,均低于啞霉胺单剂或啞霉胺和抑霉唑混剂。
处理后贮藏 120 d 冯炳良农户处的试验结果为: Pyr 500Q, Im z 500和 Pyr 500+ Im z 200的平均防效分别为 94.4%, 97.1%和 94.8%, 3个处理间无显著性差异 (表 4)。

续表 (Continued)

试验农户 Households where the experiments carried	药剂及质量浓度 Fungicides and mass concentrations/(mg / L)	发病率 Incidence %	防效 Efficacy %
冯炳良 FENG Bing-liang	Pyr 500	2.4	94.4 a
	Im z 500	1.2	97.1 a
	Pyr 500 + Im z 200	2.2	94.8 a
	对照 CK (清水 Water)	42.6	0 b

* Im z 抑霉唑 (im azalil); Pyr 嘧霉胺 (pyrim ethanil)。防效平均值后字母相同者表示差异不显著 (P > 0.05)。

* Means followed with the same letter are not significantly different (P > 0.05)。

3 结论和讨论

2年 3次接菌后浸果处理试验结果表明, 质量浓度为 500 mg / L 及其以上的嘧霉胺单剂、500 mg / L 嘧霉胺与抑霉唑或咪鲜胺的混剂对由抑霉唑抗性和敏感菌株引起的绿霉病均有显著的防治效果; 2年共 3个贮藏库的实际应用试验也表明, 嘧霉胺在具抑霉唑抗性菌系贮藏库中 (吴志刚农户处) 的防治效果明显优于抑霉唑, 在不具抑霉唑抗性菌系贮藏库 (姜文言和冯炳良农户处) 的防治效果与抑霉唑相当。由此可以断定, 嘧霉胺可作为抑霉唑的替代品应用于椪柑的采后防腐处理, 以克服绿霉病对抑霉唑等咪唑类杀菌剂的抗性。嘧霉胺的质量浓度以 500 mg / L 以上为佳, 可单独使用, 也可与抑霉唑或咪鲜胺混用; 考虑到使用后可能产生的抗药性问题, 更推荐混用, 使用技术与抑霉唑的一致。

嘧霉胺属于嘧啶胺类 (Anilinopyrim idines) 杀菌剂, 虽然对孢子萌发的抑制效果欠佳, 但对芽管伸长和菌丝生长具有很好的抑制效果, 而且具有较好的传导性, 兼具保护和治疗作用, 被广泛应用于由灰葡萄孢 *Botrytis cinerea* 引起的各类作物上的灰霉病^[9-11]。嘧霉胺以及同类杀菌剂嘧菌环胺 (cyprod inil) 对苹果和核果类果实病害有效, 并已登记用于苹果等果实贮藏期病害的防治^[12-15]。嘧霉胺对柑橘绿霉病的防治效果已经得到充分肯定^[6-7]。有关嘧啶胺类杀菌剂的作用机制目前尚不明确, 有报道认为是由于其抑制了病菌分泌水解酶, 也有报道认为是抑制病菌甲硫氨酸或其他氨基酸的合成^[11, 16]。抗性风险评价结果表明, 展青霉菌 *Penicillium expansum* 对嘧霉胺存在较大的抗性风险^[13]。因此, 对嘧霉胺实行抗性治理措施 (包括与不同杀菌剂混用), 对有效延长其防治柑橘绿霉病是必要的。

抑霉唑和咪鲜胺均属于咪唑类杀菌剂, 其作用机制为抑制甾醇合成过程中的 14- α -脱甲基酶活

性^[17-18]。已知柑橘绿霉菌对抑霉唑的抗性分子机制表现为 14- α -脱甲基酶基因 (CYP51) 启动子增强区域有额外序列的插入, 从而增强了 CYP51 表达水平, 但其抗性水平通常较低, 一般只有数十倍^[5, 17, 19], 而且, 大多数抗抑霉唑菌株的适合度有所下降, 将抗性菌株和敏感菌株孢子混合物同时接种到无抑霉唑处理的果实中, 抗性菌株的比例将很快下降^[2]。因此推测, 对抗药性严重的贮藏库, 可更换使用嘧霉胺 1~ 2 a 后再使用抑霉唑, 可以克服病菌对抑霉唑的抗性问题。在浙江衢州, 一般农户在果园边采收边用抑霉唑浸果, 处理后果实运回贮藏库后, 先通过 7~ 10 d 的预贮, 再进行单果包装, 最后经过 2~ 3 个月的室温贮藏。由于抑霉唑尚未被应用于橘园的病害防治, 推测抗性菌株主要来源于贮藏库, 感染期极可能是在预贮和单果包装过程中, 因此, 贮藏前做好贮藏库的清洁卫生和消毒工作, 并及时清除病果, 可减轻发病率。

根据笔者观察, 贮藏期青、绿霉病的发生与采果前的降雨天数密切相关 (未发表), 因此建议: 柑橘采摘应该尽量选择在连续多天的晴好天气后进行。此外, 由于柑橘青、绿霉病菌都是从伤口侵染果实, 因此避免采摘、运输和包装过程中果实的挤压受伤也可减少病害的发生率。

参考文献:

[1] BUS V G, BONGERS A J, RISSE L A, et al. Occurrence of *Penicillium digitatum* and *P. italicum* resistant to benomyl, thiabendazole and imazalil on citrus fruit from different geographic origins [J]. *Plant Dis*, 1991, 75: 1098- 1100.

[2] HOLMES G J, ECKERT J W. Relative fitness of imazalil-resistant and sensitive biotypes of *Penicillium digitatum* [J]. *Plant Dis*, 1995, 79: 1068- 1073.

[3] HOLMES G J, ECKERT J W. Sensitivity of *Penicillium digitatum* and *P. italicum* to postharvest citrus fungicides in California [J]. *Phytopathol*, 1999, 89: 716- 721.

[4] KNAY P, MANSOUR M F, MLKOTA-GABLER E, et al. Characterization of fungicide-resistant isolates of *Penicillium*

- digitatum collected in California [J]. Crop Protect, 2007, 26: 647– 656
- [5] ZHU J W, XIE Q Y, LI H Y. Occurrence of in azalil-resistant biotype of *Penicillium digitatum* in China and the resistant molecular mechanism [J]. J Zhejiang Univ: Science A, 2006, 7 (Suppl II): 362– 365.
- [6] KANETIS L, FORSTER H, ADA SKAVEG J E. Comparative efficacy of the new postharvest fungicides azoxystrobin, fludioxonil and pyrimethanil for managing citrus green mold [J]. Plant Dis, 2007, 91: 1502– 1511
- [7] KANETIS L, FÖRSTER H, ADA SKAVEG J E. Optimizing efficacy of new postharvest fungicides and evaluation of sanitizing agents for managing citrus green mold [J]. Plant Dis, 2008, 92: 261– 269
- [8] KANETIS L, FÖRSTER H, JONES C A, et al. Characterization of genetic and biochemical mechanisms of fludioxonil and pyrimethanil resistance in field isolates of *Penicillium digitatum* [J]. Phytopathol, 2008, 98: 205– 214.
- [9] LEROUX P, FRITZ R, DEBEUD, et al. Mechanisms of resistance to fungicides in field strains of *Botrytis cinerea* [J]. Pest Manag Sci, 2002, 58: 876– 888.
- [10] MCQUILKEN M P, THOMSON J. Evaluation of anilinopyrimidine and other fungicides for control of grey mould (*Botrytis cinerea*) in container-grown *Calluna vulgaris* [J]. Pest Manag Sci, 2008, 64: 748– 754.
- [11] MILLING R J, RICHARDSON C J. Mode of action of the anilinopyrimidine fungicide pyrimethanil. Effects on enzyme secretion in *Botrytis cinerea* [J]. Pestic Sci, 1995, 45: 43– 48.
- [12] ERRAMPALLI D, CRNKON. Control of blue mold caused by *Penicillium expansum* on apples ‘ Empire ’ with fludioxonil and cyprodinil [J]. Can J Plant Pathol, 2004, 26: 70– 75
- [13] LI H X, XIAO C L. Characterization of fludioxonil-resistant and pyrimethanil-resistant phenotypes of *Penicillium expansum* from apple [J]. Phytopathol, 2008, 98: 427– 435.
- [14] SHOLBERG P L, BEDFORD K, STOKES S. Sensitivity of *Penicillium* spp and *Botrytis cinerea* to pyrimethanil and its control of blue and gray mold of stored apples [J]. Crop Prot, 2005, 24: 127– 134.
- [15] SOTO-ESTRADA A, FÖRSTER H, HASEY J et al. New fungicides and application strategies based on inoculum and precipitation for managing stone fruit rust on peach in California [J]. Plant Dis, 2003, 87: 1094– 1101
- [16] MURA I, KAMAKURA T, MAENO S, et al. Inhibition enzyme secretion in plant pathogens by mepanipyrim, a novel fungicide [J]. Pestic Biochem Phys, 1994, 48: 222– 228.
- [17] HAMAMOTO H, HASEGAWA K, NAKAUNER, et al. Tandem repeat of a transcriptional enhancer upstream of the sterol 14 α -demethylase (CYP51) in *Penicillium digitatum* [J]. Appl Environ Microbiol, 2000, 66: 3421– 3426
- [18] MA Z H, MCHILDES T J. Advances in understanding molecular mechanisms of fungicide resistance and molecular detection of resistant genotypes in phytopathogenic fungi [J]. Crop Protect, 2005, 24: 853– 863
- [19] GHOSHA J M, SCHMIDT L S, MARGOSAN D A, et al. In azalil resistance linked to a unique insertion sequence in the PdCYP51 promoter region of *Penicillium digitatum* [J]. Postharvest Bio Technol, 2007, 44: 9– 18.

(责任编辑: 金淑惠)