

烟草米根霉对 6 种杀菌剂的敏感性及其菌株保存条件筛选

蔡刘体¹, 汪汉成^{*1}, 陈乾丽², 谭清群³, 杨学辉³, 马骏^{*4}

(1. 贵州省烟草科学研究院, 贵阳 550081; 2. 贵州大学农学院, 贵阳 550025; 3. 贵州省植物保护研究所, 贵阳 550006; 4. 贵州省烟草公司黔西南州分公司, 贵州兴义 562400)

摘要: 采用孢子萌发法测定了烟草上米根霉 *Rhizopus oryzae* 对 6 种杀菌剂 (代森锰锌、多菌灵、啞霉胺、啞菌酯、啞酰菌胺及氟啞胺) 的敏感性, 并就其适宜的保存条件进行了筛选, 同时采用离体叶片法测定了上述 6 种杀菌剂对烟叶霉烂病的防治效果。结果表明: 6 种杀菌剂对米根霉孢子萌发和烟叶霉烂病均表现出了不同的抑制活性。其中, 抑制孢子萌发活性最为明显的是氟啞胺和啞酰菌胺, 其 EC_{90} 值分别为 0.67 和 1.53 mg/L; 其次为代森锰锌和啞菌酯, 15.16 和 17.66 mg/L; 最弱为啞霉胺和多菌灵, 71.87 和 81.96 mg/L。对烟叶霉烂病防效最好的为啞菌酯, 50 mg/L 处理的防效为 85%; 其次为啞酰菌胺, 200 mg/L 处理时防效为 83%; 氟啞胺的防效较差, 1 000 mg/L 处理时仅为 48%; 而代森锰锌、多菌灵和啞霉胺在最高使用剂量 (分别为 4 000、800 和 800 mg/L) 时防效均低于 20%。病原菌保存方法筛选结果表明, 保存后米根霉的孢子萌发率均发生了不同程度降低。其中, 4 °C 保存于 20% 甘油组的孢子悬浮液萌发率为 60%; 4 °C 保存的孢子干样萌发率为 36%; 4 °C 保存的孢子悬浮液和 -20 °C 保存于 20% 甘油的孢子悬浮液萌发率均低于 20%; 20 °C 保存的孢子干样萌发率为 11%; -20 °C 保存的孢子悬浮液萌发率为 6%。研究结果可为烘烤期烟叶霉烂病防治和米根霉孢子的保存提供参考依据。

关键词: 烟叶霉烂病; 米根霉; 杀菌剂; 啞菌酯; 啞酰菌胺; 敏感性

中图分类号: S481.9; S482.2 文献标志码: A 文章编号: 1008-7303(2019)04-0431-06

Sensitivity of *Rhizopus oryzae* to six fungicides and the screening of its preservation conditions

CAI Liuti¹, WANG Hancheng^{*1}, CHEN Qianli², TAN Qingqun³, YANG Xuehui³, MA Jun^{*4}

(1. Guizhou Academy of Tobacco Science, Guiyang 550081, China; 2. College of Agriculture, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 3. Guizhou Institute of Plant Protection, Guiyang 550006, China; 4. Qianxinan Tobacco Company of Guizhou Tobacco Company, Xingyi 562400, Guizhou Province, China)

Abstract: The sensitivity of *Rhizopus oryzae* to six fungicides (mancozeb, carbendazim, pyrimethanil, azoxystrobin, boscalid, fluazinam) and the preservation conditions of this pathogen were determined

收稿日期: 2019-01-16; 录用日期: 2019-05-06.

基金项目: 贵州省科技支撑计划 (黔科合支撑 [2018]2356); 贵州省烟草公司黔西南州公司科技项目 (201703); 贵州省科技厅优秀青年人才培养计划 (黔科合平台人才 [2017]5619); 中国烟草总公司贵州省公司科技项目 (201711, 201714).

作者简介: 蔡刘体, 男, 博士, 副研究员, 主要从事植物保护研究, E-mail: caiiuti01@163.com; *汪汉成, 通信作者 (Author for correspondence), 男, 博士, 研究员, 主要从事植物保护及烟草微生物学研究, E-mail: xiaobaiyang126@hotmail.com; *马骏, 共同通信作者 (Co-author for correspondence), 男, 硕士, 农艺师, 主要从事烟草植物保护研究, E-mail: 25858147@qq.com

using the conidia germination method. Efficacy of these fungicides against tobacco pole rot disease was also evaluated on the detached leaves. Results showed that all the six fungicides presented different inhibitory activities against both conidia germination and pole rot. For the conidia germination, the highest inhibitions were found in the cases with fluazinam and boscalid, with EC_{90} values of 0.67 mg/L and 1.53 mg/L, respectively. Lower inhibition rates were detected in the cases with mancozeb and azoxystrobin (15.16 and 17.66 mg/L). And the lowest inhibition rates were observed in the cases with pyrimethanil and carbendazim (71.87 and 81.96 mg/L). For the disease control efficacy, the highest inhibition rate was observed in the group treated by azoxystrobin at 50 mg/L with the efficacy of 85%. Lower inhibition rate was detected after the boscalid treatment, which showed 83% efficacy at 200 mg/L, while a poor inhibition rate (48%) was observed by fluazinam treatment at the concentration of 1 000 mg/L. And mancozeb, carbendazim, pyrimethanil all exhibited efficacy of < 20% at their respectively highest dosages of 4 000, 800 and 800 mg/L. The screening results of six different pathogen preservation conditions showed that conidia germination ratio of *R. oryzae* decreased variously by using different methods. The conidia germination ratio of the conidial suspension in 20% glycerol was 60% at 4 °C, and, for dry conidia samples, that was 36% at 4 °C. In terms of the conidial suspension stored at 4 °C and the conidial suspension stored at -20 °C, the germination ratios in 20% glycerol were both < 20%. With regard to the dry conidia samples stored at -20 °C, the conidia germination ratio was 11%, and, for the conidial suspension stored at -20 °C, that was 6%. Results of this study have provided reference and basis for both the chemical control of tobacco pole rot and the storage of *R. oryzae*.

Keywords: tobacco pole rot; *Rhizopus oryzae*; fungicide; azoxystrobin; boscalid; sensitivity

由米根霉 *Rhizopus oryzae* Went et Pr. Geerl. 引起的烟叶霉烂病 (tobacco pole rot) 是烟草烘烤期较易出现的真菌性病害^[1-2], 主要发生于烟叶变黄期, 通常在茎基部出现白色菌丝, 很快产生黑色孢子并进一步扩散为害^[3]。在烟叶烘烤过程中, 密集烤房由于空间小、温度高、湿度大以及空气流动快, 尤其有利于该病害的发生与流行。烟叶霉烂病具有爆发性和危害性强的特点, 严重时发病率高达 100%, 常导致烤后烟叶质量下降、产量降低, 烟农利益受损^[4]。

由于米根霉在生长过程中会产生大量孢囊孢子, 其孢囊孢子在烟叶烘烤过程中极易扩散至周边烤房而引起烟叶霉烂病的流行^[3], 因此, 抑制病原菌孢子的萌发是预防烟叶霉烂病的关键措施之一。目前, 关于烘烤过程中烟叶霉烂病的防治, 除在烤房中采用三氯异氰尿酸烟熏剂消毒外, 还未见有效防治药剂的报道, 但该技术烘烤时易产生药害。生产上, 农药经销商经常会推荐灰霉病的防治药剂给烟农用于烟叶霉烂病的防治, 但防效甚微。笔者等前期测定了米根霉菌丝生长对多

菌灵、异菌脲、咪鲜胺、氟硅唑、丙环唑、苯醚甲环唑及啞菌酯的敏感性^[5], 然而, 抑制病原菌菌丝生长仅是限制其扩展为害的一个方面, 抑制孢子萌发更能从源头预防该病害的流行。因此, 寻找能够高效抑制米根霉孢子萌发的杀菌剂, 并将其用于烟叶霉烂病的防治, 将是解决该病害最为经济且有效的手段之一。

同时, 笔者等前期研究发现, 除了可导致烟叶霉烂病之外, 米根霉还是一种重要的食品和工业微生物, 可用于肥料发酵和酿制甜米酒, 以及生产富马酸和乳酸等产品, 具有较好的食品和工业应用前景^[6-7], 因此, 有必要对高效的米根霉菌株进行长期保存, 以便于进行相关研究和利用。常见的真菌保存方法主要有: 低温保存、甘油低温保存以及利用不同载体进行保存等^[8-9]。米根霉孢囊孢子易获得, 且数量大, 适合作为菌株保存材料, 科学保存其孢囊孢子是该菌应用的基础, 但目前有关保存条件对米根霉孢囊孢子活力的影响尚不清楚。

为了筛选烟叶霉烂病的高效防治措施以及米

根霉菌株的长期保存条件,笔者测定了代森锰锌、多菌灵、啞霉胺、啞菌酯、啞酰菌胺及氟啞胺6种主要抑制孢子萌发的杀菌剂对米根霉孢囊孢子萌发的毒力,并测定了其对烟叶霉烂病的防治效果,同时考查了保存条件对其孢子萌发活力的影响。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 菌株及其培养 米根霉 *Rhizopus oryzae* 菌株 Y5 (CCTCC M 2015720), 贵州省烟草科学研究院微生物实验室提供, 采用真菌培养基 (AEA)^[10] (酵母粉 5 g/L, KH₂PO₄ 6 g/L, NaNO₃ 6 g/L, KCl 0.50 g/L, MgSO₄ 0.25 g/L, 甘油 20 mL/L, 琼脂粉 20 g/L, 加去离子水定容至 1 L, 灭菌待用) 培养, 于 4 °C 下、AEA 培养基斜面上保存。

1.1.2 供试植物 烟草品种为云烟 87, 属烟草主栽品种, 易感病。于烟叶成熟季节采集未施用过任何药剂的中部成熟叶片, 洗净、晾干后用于活体防效测定。

1.1.3 药剂

1.1.3.1 原药 85% 代森锰锌 (mancozeb), 杜邦中国集团有限公司; 80% 多菌灵 (carbendazim), 江苏蓝丰生物化工股份有限公司; 96% 啞霉胺 (pyrimethanil), 江苏耕耘化工有限公司; 98% 啞菌酯 (azoxystrobin), 湖北津乐达化工有限公司; 99.90% 啞酰菌胺 (boscalid), Sigma-Aldrich 有限公司; 96% 氟啞胺 (fluazinam), 淄博德樽生物科技有限公司。除代森锰锌用无菌水、多菌灵用 0.20 mol/L 的稀盐酸配制外, 其余药剂均溶于甲醇中, 分别配成 1.0×10^4 mg/L 的母液, 于 4 °C 黑暗条件下保存, 备用。试验时将上述药剂母液加至无菌水中, 制成系列质量浓度的药液, 其中盐酸或甲醇的体积分数均小于 0.25% (此浓度的盐酸或甲醇均不影响烟草米根霉孢子的萌发)。以在空白无菌水中加入相同体积分数稀盐酸或甲醇的处理作为空白对照。

1.1.3.2 制剂 85% 代森锰锌可湿性粉剂 (WP), 杜邦中国集团有限公司; 50% 多菌灵 WP, 江苏蓝丰生物化工股份有限公司; 40% 啞霉胺 WP, 北京中农绿洲生物科技有限公司; 250 g/L 啞菌酯悬浮剂 (SC, 阿米西达), 先正达 (中国) 投资有限公司; 50% 啞酰菌胺水分散粒剂 (WDG, 凯泽),

巴斯夫 (中国) 投资有限公司; 500 g/L 氟啞胺悬浮剂 (SC, 福帅得), 日本石原产业株式会社。

1.2 试验方法

1.2.1 孢子萌发对杀菌剂的敏感性 采用孢子萌发法^[11]测定。将米根霉菌株在 AEA 培养基上培养 5 d 后, 菌丝表面产生大量黑色孢子, 向培养皿中加入 10 mL 无菌水, 用无菌纱布过滤并收集孢子, 制得每毫升含 1×10^6 个孢子的悬浮液。分别吸取 50 mL 各浓度药液, 与 50 mL 孢子悬浮液混合, 制得孢子混合液; 以相同体积的无菌水和孢子悬浮液混合后作为空白对照。孢子混合液中代森锰锌的最终测定质量浓度为 0、3.13、6.25、12.5、25 和 50 mg/L; 多菌灵和啞霉胺均为 0、12.5、25、50 和 100 mg/L; 啞菌酯为 0、3.13、6.25、12.5、25 和 50 mg/L; 啞酰菌胺和氟啞胺均为 0、0.13、0.25、0.50、1 和 2 mg/L。分别吸取 20 μ L 孢子混合液至载玻片上, 于保湿培养皿中、30 °C、黑暗条件下培养, 每处理 3 次重复。12 h 后随机镜检孢子的萌发情况, 当萌发芽管长度超过孢子半径时视为萌发, 计算各杀菌剂各浓度处理对病原菌孢子萌发的抑制率^[12]。

1.2.2 杀菌剂对烟叶霉烂病的防治效果 将米根霉菌株在 AEA 平板上培养 5 d 后, 在菌落边缘打取直径 5 mm 的菌碟。采用无菌水配制系列质量浓度的各制剂药液, 其中, 代森锰锌最终质量浓度 (有效成分) 分别为 0、160、800 和 4 000 mg/L, 多菌灵和啞霉胺为 0、50、200 和 800 mg/L, 啞菌酯为 0、12.5、50 和 250 mg/L, 啞酰菌胺为 0、37.5、125 和 200 mg/L, 氟啞胺为 0、200、500 和 1 000 mg/L。采用手动喷雾器 (1.5 L, 浙江涛梓喷雾器有限公司) 向离体叶片正面均匀喷雾各浓度药液, 直至药液开始滴落, 对照喷施同体积的无菌水。施药 24 h 后, 用接种针在叶片主脉同一部位制造相同尺寸伤口, 接种直径 5 mm 的菌碟, 每处理 6 片烟叶, 3 次重复。接菌后用脱脂棉包裹叶片茎基部保湿, 置于 37 °C、相对湿度大于 95% 的培养箱中培养, 48 h 后测量叶脉病斑长度, 计算各杀菌剂各浓度处理对烟叶霉烂病的防效^[13]。

1.2.3 孢子萌发对保存条件的敏感性 按 1.2.1 节方法制备每毫升含 1×10^6 个孢子的悬浮液, 分别采用以下方法进行保存: 1) 4 °C 保存; 2) -20 °C 保存; 3) 5 000 r/min 下离心 5 min 获得孢子湿样, 于 30 °C 烘干, 孢子干样于 4 °C 保存; 4) 同

上制备孢子干样, 于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存; 5) 将孢子悬浮液置于 20% 甘油溶液中, 于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存; 6) 将孢子悬浮液置于 20% 甘油溶液中, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存。60 d 后, 从各保存样品中吸取少量样品, 用无菌水分别配制成浓度为每毫升含 1×10^6 个孢子的悬浮液, 参照 1.2.1 节的方法培育孢子, 12 h 后调查孢子的萌发情况, 统计各保存方法下米根霉孢子的萌发率, 以其新成熟孢子的萌发率为对照, 评价保存条件对孢子萌发的影响。

1.3 数据处理

数据采用 Microsoft Excel 2010 软件处理, 以药剂质量浓度对数值为横坐标、抑制率几率值为纵坐标绘制毒力回归曲线, 计算毒力回归方程及有效抑制浓度 (EC_{50} 、 EC_{90}) 值。采用 DPS (7.05) 软件进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 杀菌剂对孢子萌发的影响

结果如表 1 所示。在测试质量浓度范围内, 供试 6 种杀菌剂对烟草米根霉孢子萌发均表现出了不同程度的抑制作用, 其中, 抑制活性最强的是氟啶胺和啶酰菌胺, 其 EC_{90} 值分别为 0.67 和 1.53 mg/L; 其次为代森锰锌和嘧菌酯, 最弱的为嘧霉胺和多菌灵。

表 1 供试 6 种杀菌剂对米根霉孢子萌发的抑制作用

Table 1 Inhibitory effects of six fungicides against conidia germination of *R. oryzae*

杀菌剂 Fungicide	毒力回归方程 Toxicity regression equation	相关系数 Correlation coefficient, <i>r</i>	$\text{EC}_{50}/$ (mg/L)	$\text{EC}_{90}/$ (mg/L)
代森锰锌 mancozeb	$y = 1.81x + 4.14$	0.95	2.98	15.16
多菌灵 carbendazim	$y = 2.23x + 2.01$	0.93	21.85	81.96
嘧霉胺 pyrimethanil	$y = 1.30x + 3.88$	0.95	7.40	71.87
嘧菌酯 azoxystrobin	$y = 4.10x + 1.17$	0.94	8.60	17.66
啶酰菌胺 boscalid	$y = 1.69x + 5.97$	0.99	0.27	1.53
氟啶胺 fluazinam	$y = 3.78x + 6.93$	0.93	0.31	0.67

2.2 杀菌剂对烟叶霉烂病的防治效果

测定结果表明, 代森锰锌、多菌灵、嘧霉胺、嘧菌酯、啶酰菌胺和氟啶胺 6 种杀菌剂对烟叶霉烂病的防治效果差异显著 ($P < 0.05$)。施药 24 h 后接种米根霉, 代森锰锌、多菌灵和嘧霉胺各浓度处理组烟叶均有发病, 3 种药剂在最高质量浓度 (4 000、800 和 800 mg/L) 下的防效均低于 20% (具

体数据略); 嘧菌酯、啶酰菌胺和氟啶胺各浓度处理均能抑制烟叶霉烂病的发生, 且随着药剂质量浓度升高, 防治效果均逐渐增强。其中嘧菌酯的防效最好, 50 mg/L 处理时可达 85%; 其次为啶酰菌胺, 200 mg/L 处理的防效为 83%; 氟啶胺的防效相对较差, 1 000 mg/L 处理时仅为 48% (表 2)。

表 2 供试 6 种杀菌剂对烟叶霉烂病的防治效果

Table 2 Efficacy of six fungicides against tobacco pole rot

杀菌剂 Fungicide	质量浓度 Mass conc./ (mg/L)	防效 Efficacy/%
代森锰锌 mancozeb	160	< 20 e
	800	< 20 e
	4 000	< 20 e
多菌灵 carbendazim	50	< 20 e
	200	< 20 e
	800	< 20 e
嘧霉胺 pyrimethanil	50	< 20 e
	200	< 20 e
	800	< 20 e
嘧菌酯 azoxystrobin	12.5	76 b
	50	85 a
	250	91 a
啶酰菌胺 boscalid	37.5	33 d
	125	69 b
	200	83 a
氟啶胺 fluazinam	200	31 d
	500	42 c
	1 000	48 c

注: 表中数据为平均值 ($n=3$); 不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Data in the table were represented as average value ($n=3$). Different letters indicated significant differences among treatments with $P < 0.05$.

2.3 保存条件对孢子萌发的影响

保存前测得米根霉孢子 12 h 后的萌发率达 89%, 经过 6 种方法保存 60 d 后, 萌发率均显著下降。其中, 萌发率最高 (60%) 的为 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存于 20% 甘油中的孢子悬浮液; 其次分别为 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存的孢子干样、 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存的孢子悬浮液及 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存于 20% 甘油中的孢子悬浮液; 而 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存的孢子干样和 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存的孢子悬浮液萌发率均较低 (表 3)。

3 讨论与结论

作为重要的食品和工业微生物, 米根霉的保存方法已有诸多报道^[14], 然而, 有关不同保存条件对其孢子萌发的影响鲜有报道。本研究测定了

表3 保存条件对米根霉孢子萌发的影响

Table 3 Effect of storage conditions to the conidia germination of *R. oryzae*

保存条件 Storage condition	萌发率 Germination ratio/%
4 ℃ 保存的孢子悬浮液 Conidial suspension stored at 4 ℃	21 d
-20 ℃ 保存的孢子悬浮液 Conidial suspension stored at -20 ℃	6 e
4 ℃ 保存的孢子干样 Dry conidia stored at 4 ℃	36 c
-20 ℃ 保存的孢子干样 Dry conidia stored at -20 ℃	11 e
4 ℃ 保存于20%甘油的孢子悬浮液 Conidial suspension in 20% glycerol stored at 4 ℃	60 b
-20 ℃ 保存于20%甘油的孢子悬浮液 Conidial suspension in 20% glycerol stored at -20 ℃	20 d
CK (孢子) CK (Conidia)	89 a

注:表中数据为平均值($n=200$),不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: Data in the table were expressed as average value, the same as below ($n=200$). Different letters indicate significant differences among treatments with $P<0.05$.

米根霉在不同保存条件下存放60 d后孢子的萌发活力,发现各种低温保存方法均不同程度地降低了孢子的萌发率。后续还将考查更多种保存条件及不同保存时间等对米根霉孢子活力的影响。

烟叶烘烤过程中变黄期的温度和湿度尤其有利于米根霉的侵染和产孢,同时由于烤房强力排湿的需要,空气流动速度快,十分有利于病原菌的扩散,因此在烟叶烘烤过程中米根霉可造成多次侵染循环^[15]。但有关该病害的防治技术鲜有研究报道,目前也没有登记相关防治药剂。笔者前期调研发现,农药经销商推荐给烟农防治烟叶霉烂病的药剂有多菌灵、嘧霉胺和代森锰锌等,这些药剂是否具有防治效果尚不清楚。

李润根等^[16]测定了源自龙牙百合的米根霉对申嗟霉素(phenazine-1-carboxylic acid)和己唑醇(hexaconazole)的敏感性,发现己唑醇对其的抑制活性最强。刘艳祥研究发现,己唑醇对引起红枣软腐病的米根霉的抑制活性最强^[17]。笔者等前期研究也发现,氟硅唑、苯醚甲环唑和丙环唑对米根霉菌丝生长具有一定的抑制作用^[5]。上述研究均是以抑制病原菌菌丝生长为对象的,而米根霉孢子的萌发才是其侵染烟叶和造成烟叶霉烂病流行的关键,但目前尚未见有关药剂对其孢子萌发抑制活性的研究报道。本研究测定了6种杀菌剂对米根霉孢子萌发的毒力,并评价了其在离体叶片上的防治效果,发现啶酰菌胺、氟啶胺和嘧菌酯

对米根霉孢子萌发均具有较强的抑制作用,而代森锰锌、多菌灵和嘧霉胺的抑制作用较弱,此结果与这些药剂对其他作物病原菌孢子萌发的活性间存在差异^[11,13],其原因可能与米根霉(无性型真菌)的分类地位不同有关,米根霉对多菌灵等常规防治药剂的敏感性可能与半知菌类及子囊菌门的病原菌不同,因此,代森锰锌、多菌灵和嘧霉胺等常规药剂并不宜作为烘烤期烟叶霉烂病的防治用药,烟农在病害防治药剂的选择上应慎重考虑农药经销商的推荐意见。

由于烘烤期间难以对烤房内烟叶采取处理措施,因此烟叶霉烂病的防治宜选用具有保护作用的药剂,在烘烤前对烟叶进行处理。本研究发现,采用啶酰菌胺和嘧菌酯处理烟草离体叶片时,能显著抑制霉烂病,具有较强的保护作用,因此这2种药剂可作为烟叶霉烂病防治的备选药剂。此外,生产上发现,烟叶霉烂病主要集中在叶柄处为害,为保障烟叶质量安全,可采取保护性施药措施,定向向叶柄处施药。

参考文献 (References):

- [1] WANG H C, HUANG Y F, TANG X G, et al. Leaf and stem rot of tobacco (*Nicotiana tabacum*) caused by *Rhizopus oryzae* in closed curing barns in Guizhou Province of China[J]. *Plant Dis*, 2016, 100(2): 536.
- [2] 曾婷英, 顾钢, 张绍升. 烘烤期烟叶霉烂病的病原鉴定[J]. *中国烟草学报*, 2014, 20(4): 65-68.
ZENG T Y, GU G, ZHANG S S. Pathogen identification of tobacco leaf mildew rot during flue-curing[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2014, 20(4): 65-68.
- [3] KORTEKAMP A, SCHMIDTKE M, SERR A. Infection and decay of tobacco caused by *Rhizopus oryzae*/Die Infektion und Fäulnis von Tabak verursacht durch *Rhizopus oryzae*[J]. *Zeitschrift Für Pflanzenkrankheiten Und Pflanzenschutz*, 2003, 110(6): 535-543.
- [4] SURHONE L M, TIMPLEDON M T, MARSEKEN S F. *Rhizopus oryzae*[M]. Betascript Publishing, 2010: 1-116.
- [5] 汪汉成, 张敏, 张长青, 等. 烟叶米根霉检测、碳源代谢表型及其对7种杀菌剂的敏感性[J]. *农药学报*, 2018, 20(6): 743-748.
WANG H C, ZHANG M, ZHANG C Q, et al. Pathogen detection, carbon metabolic phenotype analysis of *Rhizopus oryzae* from tobacco and its sensitivity to seven fungicides[J]. *Chin J Pestic Sci*, 2018, 20(6): 743-748.
- [6] TURNER T L, KIM E, HWANG C, et al. Short communication: conversion of lactose and whey into lactic acid by engineered yeast[J]. *J Dairy Sci*, 2017, 100(1): 124-128.
- [7] HUANG D, WANG R, DU W J, et al. Activation of glycerol metabolic pathway by evolutionary engineering of *Rhizopus oryzae* to strengthen the fumaric acid biosynthesis from crude glycerol[J]. *Bioresour Technol*, 2015, 196(11): 263-272.

- [8] LEZHNEVA M L, PETRASH I P, KOVAL'SKAIA L P. Effect of the incubation temperature on the growth and spore formation of *Penicillium italicum* and *Rhizopus nigricans* treated with ionizing radiations[J]. Prikl Biokhim Mikrobiol, 1973, 9(5): 664-670.
- [9] MIURA Y. Ten-year preservation of mucor, *Rhizopus* and *Aspergillus* cultures under liquid paraffin[J]. J Agric Chem Soc Japan, 1983, 57: 535-541.
- [10] 汪汉成, 周明国, 张艳军, 等. 戊唑醇对立枯丝核菌的抑制作用及在水稻上的应用[J]. 农药学报, 2007, 9(4): 357-362.
WANG H C, ZHOU M G, ZHANG Y J, et al. Fungicidal activity of tebuconazole against *Rhizoctonia solani* and its application to rice[J]. Chin J Pestic Sci, 2007, 9(4): 357-362.
- [11] WANG H C, WANG J, LI L C, et al. Metabolic activities of five botryticides against *Botrytis cinerea* examined using the Biolog FF MicroPlate[J]. Sci Rep, 2016, 6: 31025.
- [12] SUN H Y, WANG H C, CHEN Y, et al. Multiple resistance of *Botrytis cinerea* from vegetable crops to carbendazim, diethofencarb, procymidone, and pyrimethanil in China[J]. Plant Dis, 2010, 94(5): 551-556.
- [13] WANG H C, ZHOU M G, WANG J X, et al. Biological mode of action of dimethomorph on *Pseudoperonospora cubensis* and its systemic activity in cucumber[J]. Agric Sci in China, 2009, 8(2): 172-181.
- [14] 张凤英, 吴国平, 林丽萍, 等. 一种长期保存酿造醪糟用米根霉菌种的简易方法: CN 105886402A[P]. 2016.
ZHANG F Y, WU G P, LIN L P, et al. A simple method for long term preservation of *Rhizopus oryzae* strains used for brewing fermentation: CN 105886402A[P]. 2016.
- [15] 张玉琴, 李青山, 王传义, 等. 烤烟烟叶成熟过程中的颜色参数与烘烤特性研究[J]. 西南农业学报, 2018(1): 62-67.
ZHANG Y Q, LI Q S, WANG C Y, et al. Study on color parameters and curing characteristics of flue-cured tobacco leaves in process of maturity[J]. Southwest China J Agric Sci, 2018(1): 62-67.
- [16] 李润根, 艾芬婷. 龙牙百合软腐病病菌: 米根霉的分离鉴定及杀菌剂室内毒力测定初报[J]. 中国植保导刊, 2017, 37(11): 10-14.
LI R G, AI F T. Isolation, identification and inhibition test of *Rhizopus oryzae* from soft rot disease on Longya lily[J]. China Plant Prot, 2017, 37(11): 10-14.
- [17] 刘艳祥. 新疆红枣果实两种真菌病害病原鉴定及关键防治技术研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2016: 1-52.
LIU Y X. Research between pathogens identification and key control techniques of two jujube fruit fungal diseases in Xinjiang[D]. Wulumuqi: Xinjiang Agric Univ, 2016: 1-52.

(责任编辑: 唐 静)