

铁皮石斛根腐病原尖孢镰刀菌生物学特性及其有效杀菌剂筛选

孔琼, 郑亚美, 杨石有, 薛春丽, 周银丽, 宋敏, 袁盛勇*

(红河学院生物科学与农学学院/云南省高校滇南特色生物资源研究与利用重点实验室, 云南 蒙自 661199)

摘要: 根腐病是铁皮石斛种植生产中的一种严重病害, 本研究测定铁皮石斛根腐病原菌生物学特性和室内药剂筛选, 预期为该病害的田间防治提供数据。结果发现铁皮石斛根腐病原 *Fusarium oxysporum* 菌丝生长、产孢和孢子萌发最适温度为 25 °C; 孢子萌发相对湿度要求高于 75%, 湿度越大, 萌发率越高; 菌丝生长、产孢最适 pH 为 7; 菌丝生长最适碳氮源分别是果糖和硝酸钠; 光照条件对菌丝生长和孢子萌发无明显影响; 病原菌分生孢子致死温度为 55 °C、10 min; 9 种供试杀菌剂对尖孢镰刀菌的毒力从大到小为: 精甲·咯菌腈>腈菌唑>噻菌铜>丙环唑>噁菌灵>戊唑醇>三唑酮>氟硅唑>代森锰锌。精甲·咯菌腈、腈菌唑和丙环唑对铁皮石斛根腐病原尖孢镰刀菌抑菌活较高, 可作为该病害的田间防治参考。

关键词: 铁皮石斛; 根腐病; 尖孢镰刀菌; 生物学特性; 杀菌剂

中图分类号: S567.239

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2022)03-0108-05

Biological Characteristics and Fungicides Screening of *Fusarium oxysporum* on Root Rot in *Dendrobium officinale*

KONG Qiong, ZHENG Yamei, YANG Shiyu, XUE Chunli, ZHOU Yinli, SONG Min, YUAN Shengyong*

(College of Biological and Agricultural Sciences, Honghe University/Key Laboratory for Research and Utilization of Characteristic Biological Resources in Southern Yunnan, Mengzi 661199, China)

Abstract: Root rot is a serious disease in *Dendrobium officinale* planting. In order to provide data for control on root rot of *Dendrobium officinale* in field, the biological characteristics and effective fungicides screening of *Fusarium oxysporum* were determined indoors. The results showed that the optimal temperature for mycelial growth, sporulation and spore germination of *Fusarium oxysporum* was 25 °C. Most of spores could germinate when the relative humidity was over 75%. The optimal pH of mycelial growth and sporulation was 7, the optimum carbon and nitrogen sources for mycelial growth were respectively fructose and sodium nitrate. The illumination conditions had no significant effect on mycelial growth and spore germination; the lethal temperature of conidia was 55 °C for 10 min. Indoor toxicity tests of nine fungicides demonstrated that the bioactivity against *Fusarium oxysporum* were: metalaxy-m mixed fludioxonil > myclobutanil > thiodiazole-copper > propiconazole > hymexazol > tebuconazole > triadimefon > flusilazole > mancozeb. And the metalaxy-m mixed fludioxonil, myclobutanil and propiconazole were most effective to *Fusarium oxysporum*, which would be used as a reference for field control of this disease.

Key words: *Dendrobium officinale*; Root rot; *Fusarium oxysporum*; Biological characteristics; Fungicides

铁皮石斛 (*Dendrobium officinale* Kimura et Migo) 又称黑节草, 为多年生草本药用植物, 具有

抗肿瘤、扩张血管和增强人体免疫力等作用^[1]。由于其种子小、无胚乳, 萌发率极低, 加之过度采挖和环境破坏, 目前野生资源已濒临枯竭, 人工种植面积越来越大, 随着种植年限的延长, 其植株经常发生真菌和细菌性病害, 如炭疽病、黑斑病、根腐病、软腐病、白绢病等, 其中根腐病较为严重, 发病率高达 30%, 造成严重经济损失, 对栽培石斛的产业化构成严重威胁^[2-4]。大量研究报告药用植物根腐病是由病原真菌感染引起, 如镰刀菌 (*Fusarium* spp.)、丝核菌 (*Rhizoctonia* spp.)、

收稿日期: 2019-10-05

基金项目: 云南省地方本科高校(部分)基础研究联合专项资金项目(202001BA070001-157); 云南省教育厅项目(2015Y451); 云南省高校滇南特色水果病虫害绿色防控科技创新团队(2020102)

作者简介: 孔琼(1976-), 女, 副教授, 博士, 主要从事植物抗病性研究。

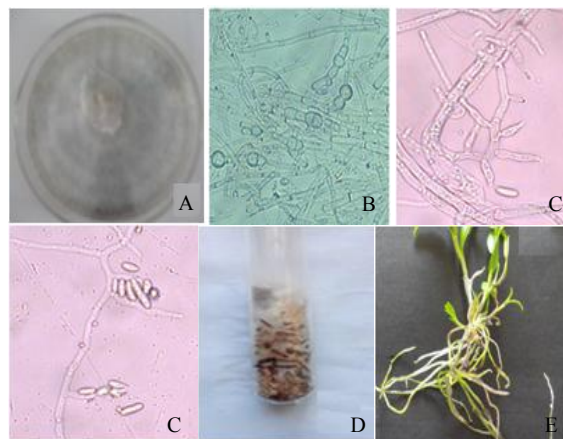
通讯作者: 袁盛勇, 男, 硕士, 副教授, E-mail: ysy9069@163.com

疫霉属 (*Phytophthora* spp.) 和轮枝孢属 (*Verticillium* spp.) 等^[5-7], 由致病力较强的镰刀菌侵染引起的根腐病是一种世界性土传真菌病害, 其危害较大, 素有“植物癌症”之称^[8-12]。笔者对云南屏边种植的铁皮石斛病害情况进行田间调查, 发现根腐病发病率较高, 严重制约铁皮石斛的种植发展。贵州和云南西双版纳种植的铁皮石斛根腐病是由镰刀菌 (*Fusarium* spp.) 引起的^[2,13], 浙江种植的铁皮石斛根腐病由镰刀菌 (*Fusarium* spp.) 和立枯丝核菌 (*Rhizoctonia solani*) 引起^[14-15], 但具体是哪种镰刀菌引起尚无相关报道。云南屏边铁皮石斛根腐病的田间发病症状、发病规律、病原等研究均无相关报道, 本课题组前期通过铁皮石斛根腐病的田间调查、标样采集和病原分离鉴定后, 确定尖孢镰刀菌 (*Fusarium oxysporum*) 导致铁皮石斛根腐病的发生, 并造成危害和损失。本研究采用铁皮石斛根腐病原尖孢镰刀菌为试验材料, 对该病原进行生物学特性和室内药剂筛选, 为根腐病的发生规律和田间防治提供试验数据。

1 材料与方 法

1.1 试验菌株和供试药剂

铁皮石斛根腐病原尖孢镰刀菌菌株 11-10-2 (图 1) 由红河学院生物科学与农学学院分离鉴定



注: A. 菌落形态 B. 厚垣孢子 C. 产孢结构
D. 小型分生孢子 E. 培养物在米饭培养基上的色泽
F. 致病性测定

图 1 铁皮石斛根腐尖孢镰刀菌形态特征及致病性测定

保存。试验中 9 种化学杀菌剂均购自蒙自市农药店 (表 1)。

1.2 方法

将菌种接种到 PSA 平板 27 °C 暗培养 5 d 后用于下列试验。

1.2.1 病原菌生物学特性研究

菌丝块直径大小为 5 mm; 以下除 1.2.1.1 外其他培养条件均于 27 °C 下暗培养 5 d; 菌落直径采用十字交叉法测量, 产孢量采用血球计数板计数。

表 1 供试 9 种杀菌剂

杀菌剂	主要成分	生产厂家
腈菌唑乳油	12.5% 腈菌唑	东莞市瑞德丰生物科技有限公司
代森锰锌可湿性粉剂	80% 代森锰锌	美国志信公司
戊唑醇悬浮剂	430 g/L 戊唑醇	陕西蒲城美乐果业有限责任公司
三唑酮可湿性粉剂	15% 三唑酮	江苏剑牌农化股份有限公司
氟硅唑乳油	400 g/L 氟硅唑	绩溪农华生物科技有限公司
丙环唑乳油	250 g/L 丙环唑	陕西恒田化工有限责任公司
精甲·咯菌腈悬浮剂	25 g/L 咯菌腈+37.5 g/L 精甲霜灵	瑞士先正达作物保护有限公司
噻菌铜悬浮剂	20% 噻菌铜	浙江龙湾化工有限责任公司
噁菌灵水剂	8% 噁菌灵	陕西西大化持科技实业有限公司

1.2.1.1 温度对菌丝生长、产孢量、孢子萌发及致死情况的影响

将菌丝块接种于 PSA 平板中央, 于 5、10、15、20、25、30、35、40 °C 温箱中培养, 每个处理重复 3 次, 第 6 天测量菌落直径和产孢量。取孢子悬浮液置于无菌凹面玻璃上, 于上述 8 个不同温度下暗培养, 12 h 后镜检, 统计萌发率, 确定温度对孢子萌发的影响。

将孢子悬浮液放入玻璃试管中水浴加热 10 min, 在 50~64 °C 下, 每 2 °C 为 1 个梯度, 共设计 8

个温度梯度; 取出处理后的菌液注入干净无菌的凹面玻璃上, 于 27 °C 保湿培养 12 h, 观察孢子萌发情况。根据试验的具体情况, 也可将温度梯度设为 1 °C, 最终确定孢子的致死温度。

1.2.1.2 不同 pH 值对菌丝生长和产孢量的影响

在 pH 分别为 5、6、7、8、9、10、11、12 的 PSA 平板中接入菌丝块, 每个处理重复 3 次, 第 6 天测量菌落直径和产孢量。

1.2.1.3 不同湿度对孢子萌发的影响

将孢子悬浮液均匀涂抹于载玻片上, 在室温

下自然干燥,用小容器调节法进行湿度调控^[6]。即在室温 25 °C 下,于玻璃干燥器内用不同浓度硫酸调节湿度,范围设置为 70%、75%、80%、85%、90%、95%、98% 和 99.5%,以水滴为对照。

1.2.1.4 不同光照对菌落生长和产孢量的影响

将菌丝块接入 PSA 平板中央,于全光照、L:D=12 h:12 h、全黑暗 3 种条件下培养,每个处理重复 3 次,第 6 天测量菌落直径和产孢量。

1.2.1.5 不同碳氮源对菌落生长的影响

以查氏培养基(Czapek)为基础培养基,分别用等质量的葡萄糖、果糖、乳糖、甘露醇替换蔗糖制成含碳培养基;同时分别用等质量的硝酸铵、硝酸钾、硫酸铵、尿素替换硝酸钠制成含氮培养基。以上制成平板后,接入菌丝块,27 °C 下暗培养,每个处理重复 3 次,第 6 天测量菌落直径。

1.2.2 病原菌室内药剂筛选

将 9 种杀菌剂分别配制成不同浓度的含药固体 PSA 平板,接入菌丝块,设不含药 PSA 为空白对照,3 次重复,于 27 °C 黑暗下培养 5 d,用十字交叉法测量菌落直径,计算相对抑制率。相对抑制率=[(对照菌落生长直径-处理菌落生长直径)÷对照菌落生长直径]×100%^[17]。经 Finney 概率分析法和 DPS 统计软件进行数据处理,求出各杀菌剂的毒力回归方程、EC₅₀ 及相关系数(*r*)。

2 结果与分析

2.1 病原菌生物学特性

2.1.1 不同温度对尖孢镰刀菌菌落生长、产孢量和孢子萌发的影响

尖孢镰刀菌菌株 11-10-2 在 10~35 °C 均能够生长、产孢和萌发,温度过低或过高均能抑制病原菌生长(见表 2)。在温度为 10~30 °C 范围内,病原菌菌落、产孢量和孢子萌发率随温度升高而增加。该菌菌落适宜生长温度为 20~30 °C,在 25 °C 时,菌落扩展最大直径为 7.41 cm,与 20 °C 的处理差异显著,与 30 °C 的处理差异不显著;该菌产孢所需温度较宽,适宜温度为 20~30 °C,25 °C 时产孢量达到最大为 0.73 × 10⁶ 个/mL,显著高于其他处理,低于 20 °C 或高于 30 °C 产孢量均下降;分生孢子在 5~35 °C 均可萌发,适合温度为 20~30 °C,25 °C 为最适萌发温度,萌发率达到最高为 5.07%,显著高于其他温度的处理。因此,病原菌菌丝生长适宜温度为 20~30 °C,孢子萌发和形成的最佳温度均为 25 °C。

表 2 温度对尖孢镰刀菌菌丝生长、产孢量及孢子萌发的影响

温度(°C)	菌落直径(cm)	产孢量(×10 ⁶ 个/mL)	孢子萌发率(%)
5	-	0.09±0.00f	0.61±0.02g
10	2.11±0.08c	0.30±0.00e	2.14±0.06f
15	3.01±0.05c	0.43±0.04c	2.90±0.07d
20	5.90±1.13b	0.57±0.04b	3.93±0.06c
25	7.41±0.54a	0.73±0.00a	5.07±0.06a
30	6.49±1.39ab	0.60±0.01b	4.11±0.02b
35	2.07±0.07c	0.39±0.01d	2.62±0.03e
40	-	-	-

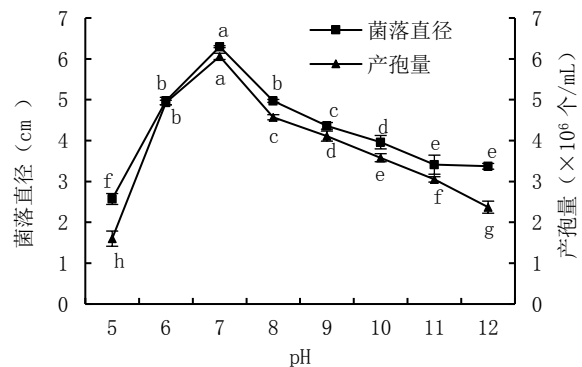
注:数据用“平均值±标准差”表示,不同小写字母表示在 *P*<0.05 水平上差异显著,下同。“-”表示未生长

2.1.2 病原菌孢子致死温度

尖孢镰刀菌菌株 11-10-2 在 50、52、54 °C 水浴 10 min 均能萌发,但在 56 °C 及 56 °C 以上处理 10 min 后孢子不能萌发,因此将温度梯度缩小为 1 °C,以 55 °C 水浴 10 min 孢子不能萌发,说明该菌的孢子致死温度为 55 °C、10 min。

2.1.3 pH 值对病原菌菌落生长和产孢量的影响

在 pH 5~12 范围内,病原尖孢镰刀菌菌株 11-10-2 均能生长和萌发,但差异较大(图 2)。在 pH 为 7 时,培养 5 d 后菌落直径和产孢量均达到最大值,分别为 6.30 cm 和 6.06 × 10⁶ 个/mL,显著高于其他处理;其次是 pH 为 6 或 8 时,偏碱性条件起到抑制作用。因此孢子的形成和菌丝生长以中性条件为好。

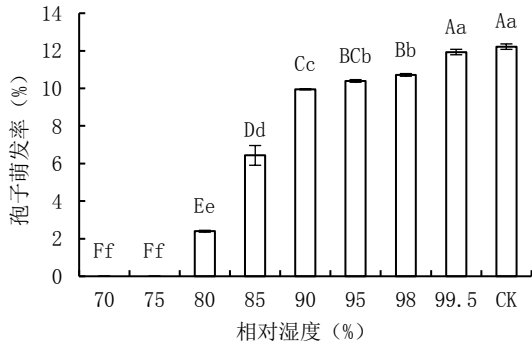


注:不同小写字母表示 *P*<0.05 水平上差异显著,下同

图 2 pH 值对尖孢镰刀菌菌落和产孢量的影响

2.1.4 不同湿度对病原菌孢子萌发的影响

图 3 结果表明,分生孢子在相对湿度 80%~99.5% 的水滴中均可萌发,其中对照和 99.5% 处理下孢子萌发最显著,萌发率分别为 12.22% 和 11.93%,与其他处理均有显著差异,二者间差异不显著,其次为 98%、95%、90% 的处理;当相对湿度低于 99.5% 时,孢子萌发率逐渐下降,且在 75%



注:不同大写字母表示 $P<0.01$ 水平上差异极显著

图3 不同湿度下尖孢镰刀菌孢子萌发率

和70%时均不萌发。

2.1.5 不同光照对病原菌菌落生长和产孢量的影响

铁皮石斛根腐病原尖孢镰刀菌11-10-2菌株在不同光照条件下均能生长和产孢(表3)。菌丝在连续黑暗条件下生长较好,5 d后菌落直径最大高达7.32 cm,产孢量也最大,达到 6.43×10^6 个/mL,但与连续光照和光暗交替12 h:12 h的处理差异不显著。表明光照对于菌丝生长和产孢量增加影响不大。

表3 光照对尖孢镰刀菌菌落生长和产孢量的影响

处理	菌落直径(cm)	产孢量($\times 10^6$ 个/mL)
连续光照	6.54 \pm 0.04a	6.36 \pm 0.14a
连续黑暗	7.32 \pm 0.63a	6.43 \pm 0.18a
光暗交替	6.06 \pm 0.92a	6.39 \pm 0.17a

2.1.6 不同碳氮源对病原菌菌落生长的影响

在供试5种碳源中,以果糖和乳糖为碳源的

培养基上菌丝生长速度较快(表4),菌落直径分别为8.95 cm和7.78 cm,二者差异不显著,而以葡萄糖、蔗糖和D-甘露醇为碳源的培养基上生长相对缓慢。供试的5种氮源中,以硝酸钠、硝酸钾和硫酸铵为氮源的培养基上生长较快,显著高于其他处理,但三者间差异不显著,随后依次为硝酸铵和尿素。

表4 不同碳氮源处理对铁皮石斛尖孢镰刀菌菌丝生长的影响

碳源	菌落直径(cm)	氮源	菌落直径(cm)
蔗糖	6.18 \pm 1.22ab	尿素	3.24 \pm 2.03b
乳糖	7.78 \pm 1.83ab	硝酸钠	7.23 \pm 0.26a
葡萄糖	6.84 \pm 0.15ab	硫酸铵	6.44 \pm 0.24a
D-甘露醇	5.81 \pm 2.63b	硝酸铵	3.88 \pm 0.05b
果糖	8.95 \pm 0.00a	硝酸钾	6.84 \pm 0.44a

2.2 病原菌室内药剂筛选

9种杀菌剂对铁皮石斛根腐病原尖孢镰刀菌菌丝生长均有一定的抑制作用,随着药剂浓度的增加,其相对抑制率也随之增大(表5)。其中精甲·咯菌腈悬浮剂、腈菌唑乳油、丙环唑乳油和噻菌铜悬浮剂的抑制效果较好,其 EC_{50} 低于10 μ g/mL,分别为6.53、6.56、9.80、8.43 μ g/mL,但噻菌铜悬浮剂的相关系数较低,不宜采用;噁菌灵水剂、戊唑醇悬浮剂、三唑酮可湿性粉剂和氟硅唑乳油的 EC_{50} 值介于15~20 μ g/mL之间;代森锰锌可湿性粉剂的 EC_{50} 最高为107.91 μ g/mL。

表5 9种药剂对铁皮石斛尖孢镰刀菌的抑制效果

供试药剂	毒力回归方程	EC_{50} (μ g/mL)	相关系数(r)
腈菌唑(EC)	$y=2.0311x+3.3409$	6.56	0.96
代森锰锌(WP)	$y=1.7487x+2.7333$	107.91	0.87
戊唑醇(SC)	$y=2.5992x+1.8777$	15.89	0.97
三唑酮(WP)	$y=1.5619x+3.7277$	18.36	0.98
氟硅唑(EC)	$y=2.3506x+1.6502$	19.16	0.98
丙环唑(EC)	$y=1.7816x+3.2342$	9.80	0.96
精甲·咯菌腈(SC)	$y=1.9973x+0.9394$	6.53	0.99
噻菌铜(SC)	$y=1.4468x+3.6603$	8.43	0.89
噁菌灵(AS)	$y=1.8637x+2.6100$	14.99	0.97

3 讨论与结论

大量研究发现病原菌生物学特性与病害发生发展关系紧密。镰刀菌属(*Fusarium* spp.)真菌是世界分布最为广泛、常见的一类土传病害病原,寄生于很多药用植物的根部或根茎部,引起枯萎或腐烂症状^[10-12]。该属真菌生长较快,菌丝生长

和产孢适合生长的pH范围较宽,光照对菌丝生长发育无明显影响,且孢子萌发需要较高的湿度。如白芨根腐病原尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)菌丝生长的最适温度为25~30 $^{\circ}$ C,最适pH为6~7,分生孢子在相对湿度为100%才能很好萌发^[18]。本研究对铁皮石斛根腐病原尖孢镰刀菌的生物学特性测定结果表明,适合该菌菌丝生长、

产孢和孢子萌发的最适温度为 25 °C;孢子萌发相对湿度要求高于 75%,湿度越高,萌发率越高;菌丝生长、产孢最适 pH 为 7;菌丝生长最适碳氮源分别是果糖和硝酸钠;光照条件对菌丝生长和孢子萌发无明显影响;病原菌分生孢子致死温度为 55 °C、10 min。因此在高温、高湿和中性环境下该病易于侵染和发生,这与铁皮石斛根腐病易发生于高温高湿的 6~8 月田间塑料大棚的环境相一致,且发病较为严重^[19]。

随着医药市场对铁皮石斛需求的增大,人工设施栽培面积也不断扩大,而设施栽培具有温度高、湿度大、空气不流通,连年种植等特点,非常有利于病原菌的生长繁殖。研究发现三唑类杀菌剂具有广谱性,如苯醚甲环唑水分散粒剂和戊唑醇可湿性粉剂对孩儿参根腐病 *Fusarium oxysporum* 的抑菌效果明显高于其他药剂^[7],10% 灭菌唑悬浮种衣剂对玉米丝黑穗病 *Sporisorium reilianu* 也有较高防效^[20],40% 氟硅唑乳油和 10% 苯醚甲环唑水分散粒剂也能有效抑制油梨溃疡病 (*Dothiorella* spp.) 菌丝的生长^[21]。本研究发现三唑类杀菌剂腈菌唑乳油和丙环唑乳油、苯基酰胺类和苯吡咯类复配剂精甲·咯菌腈悬浮剂对铁皮石斛根腐病病原尖孢镰刀菌的室内毒力较高,其 EC₅₀ 低于 10 μg/mL;三唑类杀菌剂的戊唑醇悬浮剂、三唑酮可湿性粉剂和氟硅唑乳油的毒力较差,有机硫类代森锰锌可湿性粉剂的抑制效果最差,因此可将三唑类杀菌剂腈菌唑乳油和丙环唑乳油、苯基酰胺类和苯吡咯类复配剂精甲·咯菌腈悬浮剂 3 种农药作为铁皮石斛根腐病田间化学防治的药剂,3 种药剂的田间防治效果还需进一步研究。

参考文献:

- [1] 高秀娟,王春生. 鲜品铁皮石斛的应用介绍[J]. 北京中医药, 2013, 32(7):543-544.
- [2] 李 戈,李荣英,高微微,等. 药用石斛规模化种植中的病害问题及防治策略[J]. 中国中药杂志, 2013, 38(4): 56-57.
- [3] 赵玲琳,王国荣,沈伟东,等. 铁皮石斛炭疽病病原菌的分离鉴定及其有效杀菌剂的筛选[J]. 植物保护, 2018, 44(6): 185-190.
- [4] 陈秋燕,陈东红,石 艳,等. 铁皮石斛白绢病发生规律研究[J]. 中国中药杂志, 2019, 44(2):1-5.
- [5] 旷 玲,周如军,傅俊范. 短梗五加根腐病菌生物学特性研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2008, 39(1):28-32.
- [6] Guo R, Liu X, Li S, et al. In vitro inhibition of fungal root-rot pathogens of *Panax notoginseng* by rhizobacteria[J]. Plant Pathology Journal, 2009, 25(1): 70-76.
- [7] 任建国,欧阳桂炉,汪文云,等. 太子参根腐病菌的分离和鉴定及 10 种杀菌剂对其毒力测定试验[J]. 农药, 2016, 55(4): 297-299.
- [8] 张礼维. 贵州白术根腐病病原鉴定及防治研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2015.
- [9] 李佳穗,严铸云,兰 英,等. 四川主产区川芎根腐病病原菌鉴定[J]. 中药材, 2015, 38(3):443-446.
- [10] 廖长宏,陈军文,吕婉婉,等. 根和根茎类药用植物根腐病研究进展[J]. 中药材, 2017, 40(2): 492-497.
- [11] 宁荣彬,孙海峰. 贝母类中药材病害防治研究进展[J]. 东北农业科学, 2018, 43(5):34-37.
- [12] 刘昌云,张永至,申 杰,等. 黄连根腐病发病因素分析及防治药剂筛选[J]. 植物医生, 2019, 32(4):24-27.
- [13] 蒋 平,唐 华. 大棚栽培铁皮石斛常见病害及防治方法[J]. 植物医生, 2014, 27(6):24-25.
- [14] 谢响焯,方 丽,王连平,等. 浙江省铁皮石斛病害的发生及调查[J]. 浙江农业科学, 2017, 58(10): 1757-1759, 1762.
- [15] 杨凤丽,姚林泉. 温室栽培铁皮石斛主要病虫害及其绿色防控技术模式探讨[J]. 中国农技推广, 2016, 32(4):59-62.
- [16] 方中达. 植病研究方法(第 3 版)[M]. 北京:中国农业出版社, 1998: 146-155.
- [17] 徐汉虹. 植物化学保护学实验指导(第二版)[M]. 北京:中国农业出版社, 2012: 45-49.
- [18] 孙乐乐,杨永红,刘军凯,等. 白芨根腐病病原鉴定和生物学特性研究[J]. 中药材, 2013, 36(3):341-345.
- [19] 李 朋,李国祥,王长愉. 滇西南铁皮石斛常见病虫害防治措施[J]. 云南农业科技, 2016(6):45-47.
- [20] 孟玲敏,贾 娇,张 伟,等. 防治玉米丝黑穗病药剂的筛选[J]. 东北农业科学, 2018, 43(6):25-27.
- [21] 韦文添. 不同杀菌剂对油梨溃疡病菌的抑菌效果[J]. 东北农业科学, 2015, 40(2): 68-70, 91.

(责任编辑:王 昱)

(上接第 74 页)

- [9] 赵 欣,白 伟. 杜仲叶片干旱胁迫响应相关差异蛋白的筛选与鉴定[J]. 植物研究, 2008, 38(3): 422-432.
- [10] 卢福顺,石 璞,王凤义. 持续干旱对马铃薯叶绿素荧光参数的影响[J]. 吉林农业科学, 2013, 38(6): 71-75.

- [11] 裴冬丽,张红岩,张 贺,等. 干旱胁迫对番茄幼苗叶片 SOD、POD 和 PAL 活性的影响[J]. 吉林农业科学, 2015, 40(4): 83-86.

(责任编辑:刘洪霞)