

橡胶籽苗黑根病病原鉴定及生物学特性研究

蒋桂芝, 田海, 朱国渊, 张永科, 段波*, 李国华*

(云南省热带作物科学研究所植物保护与微生物利用研究中心, 景洪 666100)

摘要 橡胶籽苗黑根病严重影响橡胶育苗生产,本研究从感病籽苗中分离病原菌,经致病性的测定,病原的形态特征观察和菌丝体的 ITS、*RPB2*、*tub2* 等基因序列分析对比,鉴定病原菌为球毛壳菌 *Chaetomium globosum*;生物学特性研究结果表明,该菌生长适应能力强,在 10~35℃、pH 2~10 范围内菌丝和子囊孢子能生长和萌发,全光照能减缓菌丝的生长,糖类营养物质有利于子囊孢子萌发,子囊孢子较耐高温,48℃持续 20 min,50℃持续 15 min,52℃持续 10 min,以及 54℃持续 5 min 时才能导致病原子囊孢子失活、死亡。在夏季大棚不育苗期间,采用高温闷棚杀死病原孢子,必要时在育苗期结合化学药剂防治,对该病害可取得较好的控制效果。

关键词 橡胶籽苗; 病害; 球毛壳菌

中图分类号: S 432.44 文献标识码: A DOI: 10.16688/j.zwbh.2018508

Pathogen identification and biological characteristics of black root disease in rubber seedlings

JIANG Guizhi, TIAN Hai, ZHU Guoyuan, ZHANG Yongke, DUAN Bo*, LI Guohua*

(Research Center of Plant Protection and Microbial Utilization, Yunnan Institute of Tropical Crops, Jinghong 666100, China)

Abstract Black root disease is a serious constraint for the production of rubber seedlings. Identification of the pathogen isolated from diseased seedlings and analysis of its biological characteristics would provide important information for management of black root disease of rubber seedlings. Through isolation of pathogen, pathogenicity test, morphological observation as well as comparison of *RPB2*, *tub2* genes and ITS sequences, the causal agent for black root disease was finally identified as *Chaetomium globosum*. The analysis of its biological characteristics showed that *C. globosum* had a strong ability to adapt to the environment. The mycelia could grow well and ascospore under the culture temperatures of 10–35℃ and pH values of 2–10. The successive lighting could slow down the growth of mycelia, and the carbohydrate nutrients were conducive to germination of ascospores. The ascospore could resist higher temperature, and the lethal temperature for pathogen ascospore was 48℃ for 20 minutes, 50℃ for 15 minutes, 52℃ for 10 minutes, or 54℃ for 5 minutes. The use of high temperature during the period without seedling cultivation in the greenhouse in summer could be an effective measure to kill pathogen, and application of fungicide could also achieve a better control effect for black root disease during rubber seedling raising.

Key words rubber seedling; disease; *Chaetomium globosum*

橡胶是工业发展不可或缺的材料,天然橡胶树在我国热带地区被广泛种植。橡胶树育苗过去常用实生树苗进行芽接来获得优良品种的树苗(芽接桩苗),树苗出圃时间一般为 22 个月。目前橡胶树育苗推广采用籽苗芽接技术^[1],出圃时间一般为 6~8 个月,籽苗芽接与芽接桩苗相比出圃时间可缩短 14~16 个月。2015 年 9 月,在云南景洪大棚沙床籽苗播种育苗时零星出现一种籽苗根尖变黑的病状,导致

大棚内无病状的籽苗芽接成活率降低 50%,当年从变黑根尖部位没有分离到病原菌;2016 年 9 月播种育苗时,大棚沙床上的籽苗出现大面积根尖变黑的病状,发生率达到 98%以上,同时籽苗茎基也有部分出现褐色病变,导致大棚沙床上的籽苗全部报废。更换育苗用的河沙也不能控制病害的发生,且成本较高。病害的发生严重影响橡胶育苗生产,为此笔者对感病的籽苗进行病原分离鉴定和生物学特性研究,以期橡胶

收稿日期: 2018-12-12 修订日期: 2019-01-10

基金项目: 特色经济作物化肥农药减施技术集成研究与示范(2018YFD0201105);云南热带病虫害监测与防控(151821301082352710)

* 通信作者 E-mail: 段波 330673724@qq.com;李国华 13708818917@139.com

籽苗黑根病的综合防治提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料

病原分离材料来源于云南省热带作物科学研究所橡胶育种中心育苗大棚。在沙床上拔取感病的籽苗带回实验室,用自来水冲去根上的泥沙,晾干水分,用剪刀切取长度为 0.5 cm 左右的感病组织作为病原分离材料。

PDA 培养基:土豆 200 g,葡萄糖 20 g,琼脂粉 17 g,水 1 000 mL。

真菌菌丝 DNA 快速抽提试剂盒、ITS1/ITS4^[2]、RPB2-740F/RPB2-1365R^[3]、 β -tubulin 基因通用引物 T1/T22^[4-5]等 PCR 扩增引物由生工生物工程(上海)技术服务有限公司提供。

试验接种材料:橡胶 GT1 种子由云南省热带作物科学研究所橡胶育种中心提供。

1.2 方法

1.2.1 病原菌的分离和致病性测定

病原分离:将病原分离材料用 0.1%的升汞液表面消毒 30 s 后放到灭菌水中清洗 3 次,每次 1 min;将处理好的材料用灭菌滤纸吸取多余水分,分别放置在 PDA 平板中 25℃下培养。5 d 后将得到的菌落进行单孢分离,在 PDA 平板上继代培养得到纯培养菌株,用于致病性测定。

致病性测定:将纯培养菌株的孢子制成浓度为 1×10^6 个/mL 的孢子悬浮液备用。将供试种子按育苗要求分别播在装有灭菌河沙的花盆中,每个花盆中播种子 20 粒,处理和对照各 3 盆。播种后处理淋浇配制好的孢子悬浮液 500 mL/盆;CK 对照淋清水 500 mL/盆。将处理完的花盆放到育苗棚内,随后的萌芽管理与生产上完全一致。待种子发芽生长至 10 cm 左右时观察籽苗的根尖感病情况,感病后再进行病原菌分离,得到与接种一致的菌落时,确认为病原菌。

1.2.2 病原鉴定

1.2.2.1 形态学鉴定

将纯培养病菌在 PDA 培养基上培养 5~7 d,观察病原菌的形态特征、产孢方式等,依据 Wang 等^[6]、Brink 等^[7]、Sun 等^[8]的分类方法进行鉴定。

1.2.2.2 分子生物学鉴定

菌株总基因组 DNA 采用快速抽提试剂盒提取后,分别用 3 对引物 ITS1/ITS4,RPB2-740F/RPB2-1365R

和 T1/T22 进行 PCR 扩增。扩增产物交生工生物工程(上海)技术服务有限公司完成测序,最后将获得的 ITS、RPB2、*tub2* 序列上传至 GenBank 数据库,并与 GenBank 数据库中有关序列进行同源性比较,通过 MEGA 7 软件构建 rDNA-ITS-RPB2-*tub2* 序列多基因联合系统发育树,确定其分类地位。

1.2.3 生物学特性测定

1.2.3.1 温度对菌丝生长和子囊孢子萌发的影响

1) 菌丝生长:将纯培养菌株用打孔器打成直径 5 mm 的圆形菌块,接种于 PDA 平板上,分别置于 0、5、10、15、20、25、30、35、40℃、RH 80%、黑暗条件下进行恒温培养,7 d 后采用十字交叉法测定菌落直径,每处理 4 皿。依据菌落生长情况确定病原菌的适宜温度。

菌落直径=(菌落横向直径+菌落纵向直径)/2

2) 孢子萌发:采用悬滴法。将子囊孢子制成 2.0×10^5 个/mL 的孢子悬浮液,分别滴加到无菌凹面载玻片上,置于无菌培养皿内保湿,再将培养皿分别置于 10、15、18、20、24、26、28、30、32℃、35℃、RH 80%的条件下 24 h,测定孢子的萌发率,每处理重复 4 次。

1.2.3.2 pH 对菌丝生长的影响

以 PDA 培养基为基础,分别用 0.1 mol/L HCl 和 0.1 mol/L NaOH 调节 pH 依次为 2.0、3.0、4.0、5.0、6.0、7.0、8.0、9.0、10.0,制成不同 pH 值的 PDA 平板;将纯培养菌株用打孔器打成直径 5 mm 的圆形菌块,分别接种在不同 pH 值的 PDA 平板上,在 25℃、RH 80%的培养箱中培养 5 d,观察菌丝的生长情况,测定菌落生长量,每处理重复 4 次。

1.2.3.3 光照条件对菌丝生长的影响

将直径为 5 mm 的菌饼接种到 PDA 平板上,分别设置连续光照、12 h 光暗交替和全黑暗 3 种处理,在 25℃、RH 80%的培养箱中培养 7 d,测定菌落生长量,每处理重复 3 次。

1.2.3.4 子囊孢子的致死温度

将子囊孢子制成 2.0×10^5 个/mL 的孢子悬浮液,取 2 mL 到 5 mL 冻存管中,并置于恒温水浴锅中。分别设置 48、50、52℃处理 10、15、20 min,54℃处理 5、10 min。将处理后的孢子悬浮液滴加到无菌凹面载玻片上,置于无菌培养皿保湿,培养皿分别置于 25℃、RH 80%的条件下 24 h,测定孢子的萌发率,每处理重复 4 次。

1.2.4 试验数据处理

试验数据用 Excel 和 SPSS 21 软件处理分析。

2 结果与分析

2.1 病原分离和致病性测定

分离样本 15 个,得到 8 个菌落,7 个未生长。经镜检观察菌丝和孢子形态特征,初步鉴定 8 个菌

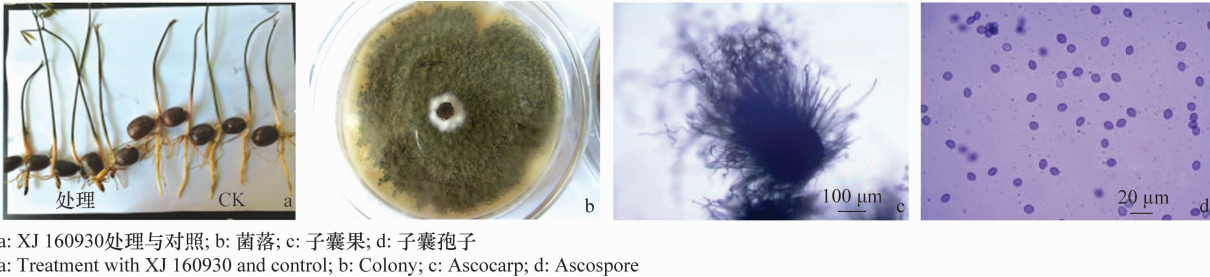


图 1 橡胶籽苗接种 XJ160930 后症状和菌株 XJ 160930 的形态特征

Fig. 1 Symptoms caused by XJ160930 in rubber seedlings and morphological features of strain XJ 160930

2.2 病原菌鉴定

2.2.1 形态学鉴定

培养 7 d 后菌落橄榄褐色。气生菌丝初期灰白色,后逐渐变成橄榄褐色,背面棕褐色,有渗出物,菌落边缘不整齐(图 1b)。子囊果表生,以褐色假根固着于基质表面,在反射光下为橄榄绿色到橄榄褐色,倒卵形到近球形,直径 110~240 μm ,高约 160~410 μm 。顶生毛大量而密集,波浪状或螺旋状卷曲,褐色,具隔,不分支,表面具密集疣点,侧生毛曲折状(图 1c);子囊孢子柠檬形,两侧扁,两端细尖,成熟后为褐色,(7~8.5) μm ×(5~7) μm ,顶生芽孔单个(图 1d),依据这些形态特征鉴定病原菌 XJ160930 为球毛壳菌 *Chaetomium globosum*。

2.2.2 分子生物学鉴定

从菌丝体中提取基因组 DNA 进行扩增、测序,获得 555 bp ITS,654 bp *RPB2*, 729 bp *tub2* 序列(GenBank 登录号分别为 KY355130, KY355133, KY355135)片段,在 NCBI 网站上进行同源性比较,通过 BLAST 搜索核酸数据库已报道的 *C. globosum* ITS、*RPB2*、*tub2* 序列比对,构建 rDNA-ITS-*RPB2*-*tub2* 序列多基因联合系统发育树(图 2)。从系统发育树分析,橡胶籽苗黑根病病原菌 XJ160930 与球毛壳菌 *C. globosum* 同源性最高,位于系统发育树的同一分支,支持率为 100%。结合橡胶籽苗黑根病病原菌的形态特征,确定橡胶籽苗黑根病病原菌为球毛壳菌 *C. globosum*。

落均为同一种真菌。单孢分离后得到纯培养菌株编号 XJ160930。试验种子 15 d 开始生根,20~25 d 开始出芽,第 30 天拔出籽苗观察:经 XJ160930 的孢子悬浮液处理过的种子出苗后根尖部位发黑,根尖生长点消失,与生产上出现的症状一致;对照籽苗生长正常,根尖生长点明显,无症状(图 1a)。确定菌株 XJ160930 对籽苗根的生长有抑制作用。

2.3 病原菌生物学特性

2.3.1 温度对病原菌菌丝生长和孢子萌发的影响

2.3.1.1 温度对病原菌菌丝生长的影响

XJ160930 在不同温度下培养 7 d 后菌落的平均生长量见表 1。菌丝在 5~35℃ 时均能生长,在不同温度条件下生长差异极显著。在 25℃ 时平均生长量最大,为 34.5 mm,其次是 30℃ 平均生长量,为 33.0 mm,在 35℃ 时平均生长量为 12.5 mm,表明该菌较喜好高温。

表 1 温度对橡胶籽苗黑根病菌菌丝生长的影响¹⁾

Table 1 Effects of temperature on mycelial growth of black root disease pathogen from rubber seedlings

温度/℃	Temperature	菌落直径/mm	Colony diameter
0		(0.0±0.0)G	
5		(1.0±0.0)G	
10		(9.5±0.6)F	
15		(15.0±0.0)D	
20		(19.3±1.0)C	
25		(34.5±1.0)A	
30		(33.0±0.0)B	
35		(12.5±1.7)E	
40		(0.0±0.0)G	

1) 同列数据后不同大写字母表示在 0.01 水平差异显著。下同。
Different capital letters indicate significant difference at 0.01 level. The same below.

2.3.1.2 温度对病原菌子囊孢子萌发的影响

在 25℃、RH 80% 的培养箱中培养 24 h,子囊孢子萌发率见表 2。子囊孢子在 10~35℃ 条件下均能

不同程度萌发,不同温度条件下的萌发率差异极显著。26℃时子囊孢子萌发率最高,为 37.0%, 20~28℃子囊

孢子萌发率均在 30%以上,在 35℃时的萌发率为 5%。因此,子囊孢子萌发较适宜温度为 20~28℃。

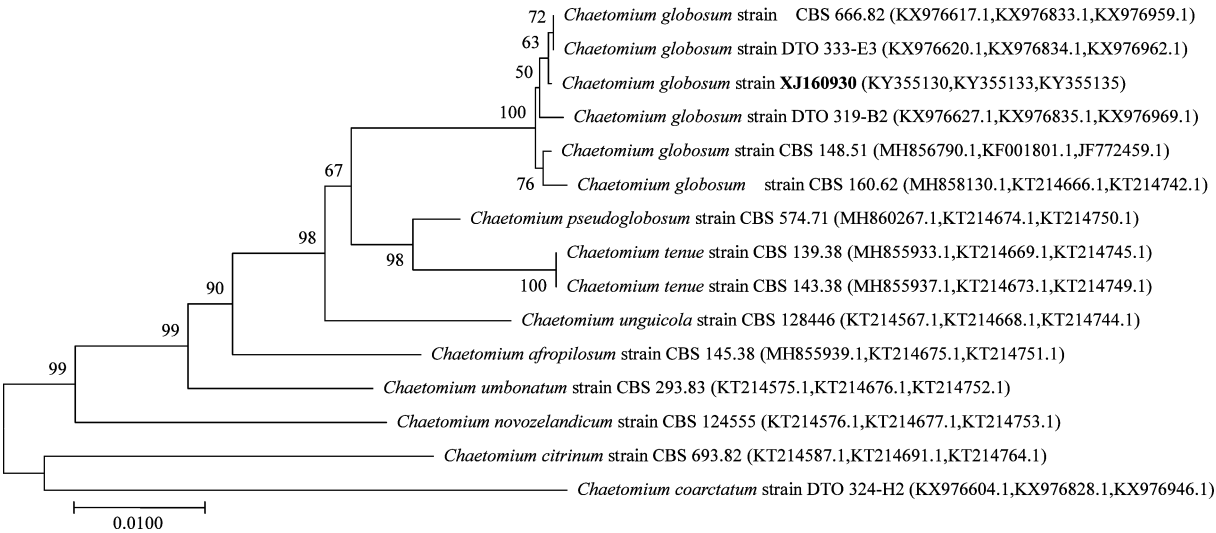


图 2 基于 rDNA-ITS-RPB2-tub2 序列构建的菌株 XJ160930 与近缘物种的系统发育树
Fig. 2 Phylogenetic relationship of the pathogenic fungus XJ160930 and other relative species
based on rDNA-ITS-RPB2-tub2 sequences

表 2 温度对橡胶籽苗黑根病菌子囊孢子萌发的影响
Table 2 Effects of temperature on ascospore germination rate of
black root disease pathogen from rubber seedlings

温度/℃ Temperature	孢子萌发率/% Germination rate of ascospore
10	(7.5±1.3)E
15	(21.5±1.3)C
20	(30.8±1.5)B
24	(33.3±1.3)B
26	(37.0±2.4)A
28	(32.8±1.0)B
30	(21.3±1.3)C
32	(11.5±1.3)D
35	(5.0±0.8)E

2.3.2 pH 对病原菌菌丝的生长影响

病原菌在不同 pH 条件下培养 5 d,菌落生长量见表 3。菌丝在 pH 2~10 的范围内都能生长,不同 pH 条件下菌生长量差异极显著。在 pH 7 和 pH 8 条件下菌丝生长最好,两者之间差异不显著;在 pH 4~6 和 pH 9 条件下菌丝也能较好生长,表明该菌最喜好中性至弱碱性的环境,同时具有较强耐酸碱环境的生存能力。

2.3.3 光照条件对病原菌菌丝生长的影响

在不同光照条件下培养 7 d,菌落生长情况见表 4。全光照条件下菌落生长量为 79.13 mm,显著低于全暗(83.03 mm)和 12 h 光暗交替(82.00 mm),全暗

和 12 h 光暗交替两处理间差异不明显。全光照条件对菌丝的生长虽然有影响,但基本不会抑制菌丝的生长,说明菌丝对全光照条件不十分敏感。

表 3 pH 对橡胶籽苗黑根病菌菌丝的生长影响
Table 3 Effects of pH on mycelial growth of black root
disease pathogen from rubber seedlings

pH	菌落直径/mm Colony diameter
2.0	(6.0±0.82)G
3.0	(15.0±0.82)F
4.0	(31.0±0.82)E
5.0	(45.8±0.96)C
6.0	(65.5±1.00)B
7.0	(69.0±0.82)A
8.0	(67.8±0.96)A
9.0	(33.0±1.41)D
10.0	(6.0±0.82)G

2.3.4 病原菌子囊孢子的致死温度

在不同温度、处理时间下,子囊孢子的萌发率见表 5。不同温度、处理时间对子囊孢子的萌发影响差异显著。48℃处理 10~15 min 时还有少量子囊孢子萌发,处理 20 min 子囊孢子不能萌发;50~52℃处理 10 min 有少量孢子能萌发,处理 15 min 子囊孢子不能萌发;在 54℃处理 10 min 病原子囊孢子不能萌发。48~52℃下短时高温不能导致子囊孢子全部死亡,在 48℃以上,处理时长达到 20 min 以上才

能导致子囊孢子丧失活性、死亡,再次表明该病原菌喜好高温环境的特性。

表 4 光照对橡胶籽苗黑根病菌菌丝生长的影响¹⁾
Table 4 Effects of illumination on mycelial growth of black root disease pathogen from rubber seedlings

处理 Treatment	菌落直径/mm Colony diameter
全光照 Full light	(79.13±1.22)b
12 h 光、暗交替 12 h light and dark alternation	(82.00±0.00)a
全暗 Dark	(83.03±0.29)a

1) 同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。
Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

表 5 不同温度、处理时间下橡胶籽苗黑根病菌子囊孢子的萌发率
Table 5 Germination rates of ascospore of black root disease pathogen from rubber seedlings after treated at different temperature for different time

处理 Treatment		孢子萌发率/% Germination rate of ascospore
温度/℃ Temperature	时间/min Time	
48	10	(5.00±0.82)a
	15	(1.00±0.82)c
	20	(0.00±0.00)d
50	10	(2.50±0.58)b
	15	(0.00±0.00)d
	20	(0.00±0.00)d
52	10	(1.50±0.58)c
	15	(0.00±0.00)d
	20	(0.00±0.00)d
54	5	(0.00±0.00)d
	10	(0.00±0.00)d

3 讨论

球毛壳菌 *C. globosum* 引起橡胶籽苗根病害在国内外都属首次报道。毛壳菌 *Chaetomium* spp. 是广泛分布于土壤和有机肥中的腐生子囊菌,具有较高的纤维素分解能力和蛋白质合成能力^[9-10]。国外报道球毛壳菌可应用于苹果、桃、茶、萝卜、黄瓜、水稻、番茄、大豆、棉花、康乃馨和玫瑰等果树、蔬菜、大田作物和花卉的病害生物防治^[11]。国内报道球毛壳菌可引起杭白菊^[12]、樟子松^[13]等的病害;引起人类皮肤、内脏的暗丝孢酶病^[14];也有报道其对油菜菌核病菌、立枯丝核菌、油菜灰霉病菌、小麦赤霉菌有抑制作用^[15-16]。

对病原菌球毛壳菌 *C. globosum* 生物学特性的研究结果表明,该菌生长适应能力强,在温度 5~

35℃和 pH 2~10 的酸性、碱性环境中菌丝都能生长,全光照条件对菌丝生长有一定的抑制作用,但不能完全抑制菌丝的生长。25~30℃时菌落生长量最高,20~28℃孢子萌发率在 30%以上,橡胶籽苗育苗过程中大棚的温度基本保持在 20~30℃,这样的温度条件适宜病原菌菌丝的快速生长、繁殖和子囊孢子的大量萌发,是导致该病害发生严重的重要原因,发病苗床没有经过严格的消毒处理,仅更换基质河沙,是导致病害反复发生不能控制的原因之一;另外病菌通过管理人员的操作活动、劳动工具等途径传播,也是导致病害反复发生不能控制的又一个原因。球毛壳菌孢子的致死温度试验结果表明,球毛壳菌子囊孢子较耐高温,短时间高温不能致子囊孢子丧失活性,只有温度在 48℃持续 20 min,或 50℃持续 15 min,或 52℃持续 10 min,以及达到 54℃持续 5 min 时才能致病原子囊孢子丧失活性、死亡。因此对该病害的综合防治可采取如下措施:在夏季大棚不育苗期间,充分利用夏季高温,进行高温闷棚使病原孢子丧失活性、死亡,必要时在育苗期结合化学药剂防治,可取得较好的控制效果。

参考文献

[1] 林位夫,黄守锋,谢贵水,等. 橡胶树籽苗芽接技术研究——橡胶树籽苗芽接育苗法研究之一[J]. 热带作物学报,1998(3):8-15.
[2] WHITE T J, BRUNS T, LEE S, et al. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenies [M]// INNIS M A, GELFAND D H, SNINSKY J J. PCR protocols: a guide to methods and applications. San Diego: Academic Press,1990:315-322.
[3] MILLER A N, HUHNDORF S M. Multi-gene phylogenies indicate ascomal wall morphology is a better predictor of phylogenetic relationships than ascospore morphology in the Sordariales (Ascomycota, Fungi) [J]. Molecular Phylogenetics & Evolution, 2005,35(1):60-75.
[4] O'DONNELL K, CIGELNIK E. Two divergent intragenomic rDNA ITS2 types within a monophyletic lineage of the fungus *Fusarium* are nonorthologous [J]. Molecular Phylogenetics & Evolution, 1997,7(1):103-116.
[5] ORBACH M J, PORRO E B, YANOFSKY C. Cloning and characterization of the gene for beta-tubulin from a benomyl-resistant mutant of *Neurospora crassa* and its use as a dominant selectable marker [J]. Molecular & Cellular Biology, 1986,6(7):2452-2461.
[6] WANG X W, HOUBRAKEN J, GROENEWALD J Z, et al. Diversity and taxonomy of *Chaetomium* and *Chaetomium*-like fungi from indoor environments [J]. Studies in Mycology,

2016, 84: 145–224.

- [7] BRINK JV D, FACUN K, VRIES M, et al. Thermophilic growth and enzymatic thermostability are polyphyletic traits within Chaetomiaceae [J]. Fungal Biology, 2015, 119(12): 1255–1266.
- [8] SUN Guangyu, TAN Youjiu, ZHANG Rong. The family Chaetomiaceae from China I. Species of the genus Chaetomium [J]. 菌物学报, 2004, 23(3): 333–337.
- [9] MANOLIU A, ANTOHE L, CREANGA DE, et al. The influence of the petroleum ferrofluids upon the cellulolytic fungi *Cheatomium globosum* [J]. Journal of Magnetism & Magnetic Materials, 1999, 201(1): 446–448.
- [10] SONI R, SANDHU D K, SONI S K. Localisation and optimization of cellulase production in *Chaetomium erraticum* [J]. Journal of Biotechnology, 1999, 73(1): 43–51.

- [11] SOVTONG K. Application of a new broad spectrum biological fungicide for environmental plant protection [C]// 哈尔滨: 植物病虫害生物防治国际会议论文集, 2000: 8–26.
- [12] 马婉琴, 蔡苏, 钱永生, 等. 球毛壳菌引起杭白菊叶枯病的首次报道[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版), 2015, 14(4): 390–393.
- [13] 贾艳梅, 同金侠, 杨锦萍, 等. 球毛壳菌对樟子松的侵染规律研究[J]. 陕西林业科技, 2003(3): 47–50.
- [14] 余进, 赵邑, 杨淑霞, 等. 少见致病性毛壳菌形态学及分子生物学特性研究[J]. 临床皮肤科杂志, 2005, 34(8): 504–506.
- [15] 陈利军, 史洪中, 陈月华. 油菜内生球毛壳菌抑菌作用初步测定[J]. 河南农业科学, 2005(7): 54–56.
- [16] 兰楠, 祁高富, 喻子牛, 等. 油菜内生真菌的分离、鉴定及抑菌作用[J]. 华中农业大学学报, 2011, 30(3): 270–275.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 188 页)

- [15] ZHANG Y X, ZHANG Z Q, CHEN C P, et al. *Amblyseius cucumeris* (Acari: Phytoseiidae) as a biocontrol agent against *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae) on citrus in China [J]. Systematic & Applied Acarology, 2001, 6(1): 35–44.
- [16] KAKKAR G, KUMAR V, SEAL D R, et al. Predation by *Neoseiulus cucumeris* and *Amblyseius swirskii* on *Thrips palmi* and *Frankliniella schultzei* on cucumber [J]. Biological Control, 2016, 92: 85–91.
- [17] 陈霞, 张艳璇, 季洁, 等. 截形叶螨对胡瓜钝绥螨的吸引作用[J]. 蛛形学报, 2006, 15(2): 98–101.
- [18] 蒋洪丽, 王恩东, 吕佳乐, 等. 加州新小绥螨对朱砂叶螨不同螨态的捕食选择性及与拟长毛钝绥螨功能反应比较[J]. 中国生

物防治学报, 2015, 31(1): 8–13.

- [19] HASSELL M P, ROGERS D J. Insect parasite responses in the development of population model [J]. Journal of Animal Ecology, 1972, 41: 661–667.
- [20] 徐汝梅. 昆虫种群生态学[M]. 第2版. 北京: 北京师范大学出版社, 1990.
- [21] 尚素琴, 郑开福, 张新虎. 巴氏钝绥螨对二斑叶螨的捕食功能反应[J]. 植物保护学报, 2015, 42(3): 316–320.
- [22] 李美, 符悦冠. 胡瓜钝绥螨室内种群生命表研究[J]. 植物保护, 2007, 33(2): 84–87.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 196 页)

- [20] 张欣, 刘静, 沈国平, 等. 基于高通量测序研究青藏高原茶卡盐湖微生物多样性[J]. 微生物学通报, 2017, 44(8): 1834–1846.
- [21] 刘强, 赵本宣, 李汝伟, 等. 舟山群岛不同功能区划海域细菌群落结构分析[J]. 微生物学报, 2018, 58(2): 247–263.
- [22] 王丹丹, 林青, 欧提库尔·玛合木提, 等. 塔克拉玛干沙尘暴源区空气细菌群落多样性[J]. 微生物学报, 2018, 58(8): 1420–1430.
- [23] 甄泉, 王雅晴, 洗超凡, 等. 沙尘暴对北京市空气细菌多样性特征的影响[J]. 生态学报, 2019, 39(2): 717–725.
- [24] 黄丽丽, 张艳, 周红, 等. 基于 16S rRNA 高通量测序方法比较新疆冷水鱼肠道中微生物多样性[J]. 食品科学, 2018, 39(10): 138–144.
- [25] 张超. 基于高通量测序研究肉桂精油对肠炎小鼠肠道菌群的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017.
- [26] 贺纪正, 李晶, 郑袁明. 土壤生态系统微生物多样性-稳定性关系的思考[J]. 生物多样性, 2013, 21(4): 412–421.

- [27] 宋旭红, 谭均, 李隆云, 等. Illumina 高通量测序揭示黄连根腐病根际土壤真菌群落组成及多样性[J]. 中草药, 2018, 49(22): 5396–5403.
- [28] 武俊男, 刘显辛, 周雪, 等. 基于 Illumina MiSeq 测序平台分析长期不同施肥处理对黑土真菌群落的影响[J]. 微生物学报, 2018, 58(9): 1658–1671.
- [29] 文朝慧, 何苏琴, 荆卓琼. 甘肃省马铃薯坏疽病原菌鉴定[J]. 植物保护, 2012, 38(5): 40–45.
- [30] 杨瑞红, 赵成义, 王新军, 等. 梭梭和柽柳土壤微生物多样性初步分析[J]. 土壤, 2016, 48(6): 1120–1130.
- [31] FIERER N, LAUBER C L, RAMIREZ K S, et al. Comparative metagenomic, phylogenetic and physiological analyses of soil microbial communities across nitrogen gradients [J]. The ISME Journal, 2012, 6(5): 1007.

(责任编辑: 田 喆)