

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2024.05.005

草果假茎黑斑病菌小孢拟盘多毛孢的生物学特性分析

杨春莲¹, 杨丽芬¹, 郭建伟¹, 施竹凤²,
余泽云³, 吴莲张⁴, 杨毅⁴, 元超⁵

1. 昆明学院 农学与生命科学院/云南省都市特色农业工程技术研究中心, 昆明 650214;
2. 云南省农业科学院 农业环境资源研究所, 昆明 650205;
3. 宜宾市叙州区横江中学校, 四川 宜宾 644613;
4. 怒江绿色香料产业研究院, 云南 泸水 673199;
5. 中国热带农业科学院 热带作物品种资源研究所, 海南 儋州 571737

摘要: 为探明草果假茎黑斑病菌小孢拟盘多毛孢 CGJ-3 的生物学特性, 采用生长速率法和血球计数板法检测碳源、氮源、温度、光照及 pH 值对其菌丝生长与产孢的影响。结果表明: 小孢拟盘多毛孢 CGJ-3 在以葡萄糖、甘露醇、山梨醇、果糖、蔗糖、麦芽糖、淀粉和木糖为碳源的培养基上均能生长并产孢, 葡萄糖为最适合菌丝生长的碳源, 果糖为最佳产孢碳源。除尿素外, 该菌在以牛肉膏、蛋白胨、甘氨酸、硝酸钾、硝酸钠、磷酸铵、硝酸铵、甲硫氨酸和硫酸铵为氮源的培养基上均能生长并产孢, 牛肉膏为最佳氮源。病原菌适宜生长温度为 23~29 °C, 最佳温度为 27 °C; 产孢适宜温度为 25~27 °C, 最佳温度同样为 27 °C。光照促进病原菌的生长与产孢, 栽种常绿阔叶树可抑制其繁殖。该菌在 pH 值为 4~12 时均能生长, pH 值为 4~11 时能产孢, 最适生长的 pH 值为 6, 最适产孢的 pH 值为 7。采用咪鲜胺、吡唑醚菌酯和曹氏甲托可以控制拟盘多毛孢属真菌引起的草果病害。研究结果为草果栽种常绿阔叶树和施用尿素可抑制病原菌生长与产孢提供了理论依据。

关键词: 小孢拟盘多毛孢; 假茎黑斑病;

草果; 产孢; 咪鲜胺

中图分类号: S482.2

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 2097-1354(2024)05-0040-08

收稿日期: 2024-03-27

基金项目: 国家自然科学基金(31860026); 昆明学院引进人才项目(XJ20230077); 云南省生物种业和农产品精深加工专项(202202AE090035); 福贡县 2021 年特色草果系列研发项目(NYNJC2021014)。

作者简介: 杨春莲, 本科, 主要从事病原微生物多样性及致病性方面的研究。

共同第一作者: 杨丽芬, 硕士, 助教, 主要从事病原微生物致病性及抗病品种评价方面的研究。

通信作者: 郭建伟, 博士, 副研究员。

Biological Characteristics of *Amomum tsao-ko* Pseudostem Black Spot Disease Pathogen *Pestalotiopsis microspora*

YANG Chunlian¹, YANG Lifan¹, GUO Jianwei¹, SHI Zhufeng²,
YU Zeyun³, WU Lianzhang⁴, YANG Yi⁴, YUAN Chao⁵

1. College of Agronomy and Life Sciences / Yunnan Urban Agricultural Engineering and Technological Research Center,
Kunming University, Kunming 650214, China;

2. Agricultural Environment and Resources Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China;

3. Hengjiang Middle School in Xuzhou District, Yibin Sichuan 644613, China;

4. Nujiang Green Spice Industry Research Institute, Lushui Yunnan 673199, China;

5. Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Danzhou Hainan 571737, China

Abstract: To elucidate the biological characteristics of *Amomum tsao-ko* black spot disease fungus CGJ-3 (*Pestalotiopsis microspora*), the growth rate method and hemocytometer method were used to assess the effects of carbon sources, nitrogen sources, temperature, light, and pH on mycelial growth and spore production. The results showed that CGJ-3 could grow and produce spores on media containing glucose, mannitol, sorbitol, fructose, sucrose, maltose, starch, and xylose, with glucose being the most suitable carbon source for mycelial growth and fructose as the best for spore production. Except urea, the fungus grew and produced spores on media with beef extract, peptone, glycine, potassium nitrate, sodium nitrate, ammonium phosphate, ammonium nitrate, methionine, and threonine as nitrogen sources, with beef extract being the optimal nitrogen source. The suitable growth temperature for the pathogen was 23~29 °C, with an optimum temperature at 27 °C; the suitable temperature range for spore production was 25~27 °C, with the optimum temperature also at 27 °C. Light promoted the growth and spore production of the pathogen, while planting evergreen broadleaf trees with *A. tsao-ko* plants could inhibit the reproduction of the pathogen. The fungus was able to grow at a pH range of 4~12 and produced spores at a pH of 4~11, with the optimal pH for growth being 6 and the optimal pH for spore production being 7. The application of procymidone, pyraclostrobin, and chlorothalonil can control the *A. tsao-ko* black spot diseases caused by the genus *Pestalotiopsis*. The results provide theoretical support for the planting of evergreen broadleaf trees and the application of urea to inhibit the growth and spore production of the pathogen.

Key words: *Pestalotiopsis microspora*; Pseudostem Black Spot Disease; *Amomum tsao-ko*; conidial production; prochloraz

草果(*Amomum tsao-ko* Crevost et Lemaire)是姜科(Zingiberaceae)豆蔻属(*Amomum*)多年生常绿草本植物^[1],因其根、茎及果实富含芳香化合物而成为重要的药食同源香料作物。草果的干果是重要的中药材,常与知母、柴胡、桂皮等配伍。草果同时是草果饮、柴桂草果汤、草果知母汤、达原饮等汤药,以及透骨搜风丸、宽胸利膈丸、开郁舒肝丸(蒙药)、十一味草果丸(藏药)等中成药的主要成分,主治疟疾寒热、瘟疫发热、脘腹胀痛、痞满呕吐及寒湿内阻等。草果作为《香辛料和调味品名称》(GB/T 12729.1—2008)中规定的68种常用天然香辛料之一,是五香粉、十三香等大宗调味料的主要成分^[2-4]。草果主要分布于中国云南东南部、广西西部及相邻的越南和老挝北部。截至2021年,云南省的草果种植面积达14.36万hm²,年产值为19.96亿元,种植面积与产量均占全国90%以上;其中,云南省怒江傈僳族自治州、红河哈尼族彝族自治州、

文山壮族苗族自治州、保山市、德宏傣族景颇族自治州等地为云南草果主要产地,占种植面积的97%^[5]。2013年8月,在云南省红河州屏边苗族自治县大围山国家级自然保护区,发现由小孢拟盘多毛孢(*Pestalotiopsis microspora* (Speg.) Satista & Peresapud Batista)侵染引起的草果假茎黑斑病,每6.67 hm²草果田间发病率约30%^[6]。近年来,小孢拟盘多毛孢侵染引起的病害呈上升趋势,包括麻风树叶枯病^[7]、白术叶枯病^[8]、柑橘果斑病^[9]、核桃叶枯病^[10]、青脆李枯萎病等^[11]。研究温度、光照、pH值、碳源和氮源等对病原菌菌丝生长和产孢的影响,有助于病害的防控^[12-14]。因此,本研究系统探索了草果小孢拟盘多毛孢假茎黑斑病病原菌的生物学特性,以为该病害的田间防治奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

小孢拟盘多毛孢CGJ-3分离自2013年8月在云南省红河州屏边苗族自治县大围山国家级自然保护区(22°58' N, 103°37' E, 海拔1 308 m)的草果假茎黑斑病样品。试验所需的PDA培养基和改良沙氏葡萄糖蛋白胨琼脂培养基按照杨丽芬等^[15]研究中的方法制备。

1.2 方法

1.2.1 碳源对菌丝生长及产孢量的影响

以改良沙氏葡萄糖蛋白胨琼脂培养基为基础,分别以20 g的果糖、麦芽糖、木糖、甘露醇、蔗糖、山梨醇和可溶性淀粉替代葡萄糖配置不同碳源的培养基。用无菌打孔器取直径6 mm的菌饼接种于不同碳源培养基,每个处理重复3次,在28℃恒温暗条件下培养5 d,采用交叉法测量菌落直径,15 d后采用血球计数板法测定其产孢量^[16]。

1.2.2 氮源对菌丝生长及产孢量的影响

以改良沙氏葡萄糖蛋白胨琼脂培养基为基础,使用10 g的硝酸钠、硝酸铵、硝酸钾、尿素、甘氨酸、牛肉膏、硫酸铵、磷酸铵和甲硫氨酸替代蛋白胨,其他同1.2.1中的操作方法。

1.2.3 温度对菌丝生长及产孢量的影响

用无菌打孔器取直径6 mm的菌饼接种于PDA培养基,分别在21, 23, 25, 27, 29, 31, 33, 35℃条件下进行培养,其他同1.2.1中的操作方法。

1.2.4 光照对菌丝生长及产孢量的影响

用无菌打孔器取直径6 mm的菌饼接种至PDA培养基中央,分别培养于全光照、全黑暗、光暗交替(12 h更替)3种条件下,置于28℃恒温箱,其余同1.2.1中的操作方法。

1.2.5 pH值对菌丝生长及产孢量的影响

用0.1 mol/L HCl和0.1 mol/L NaOH溶液将PDA培养基的pH值调至4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11和12,配置9个不同pH值梯度的培养基。用无菌打孔器取直径6 mm的菌饼接种于PDA培养基中央,在28℃恒温箱中暗培养,其他同1.2.1中的操作方法。

1.2.6 病原菌致死温度确定

将直径6 mm的菌饼置于装有5 mL无菌水的试管中,分别放入45~85℃的恒温水浴锅中加热10 min,按每5℃一个梯度,每个梯度重复3次。取出后冷却至室温,接种于PDA培养基中央,在28℃恒温箱中暗培养,其他同1.2.1中的操作方法。

1.3 数据处理与统计学分析

研究数据采用SPSS Statistics 23软件进行统计分析,参考Duncan新复极差法^[17]进行多重

比较分析,以确定各组之间的显著性差异, $p<0.05$ 表示组间差异比较具有统计学意义.

2 结果与分析

2.1 碳源对小孢拟盘多毛孢菌丝生长及产孢量的影响

研究结果显示,小孢拟盘多毛孢 CGJ-3 在不同碳源中菌丝生长速度与产孢量存在显著差异,所有供试碳源均能支持其生长和产孢,葡萄糖为最适合菌丝生长的碳源,果糖为最佳产孢碳源(表 1).

表 1 不同碳源对小孢拟盘多毛孢菌落直径及产孢量的影响

碳源	5 d 后菌落直径/mm	15 d 后产孢量/($\times 10^6$ 个/mL)
山梨醇	70.82 $\pm$ 0.08c	1.80 $\pm$ 0.20e
果糖	66.17 $\pm$ 0.12d	3.53 $\pm$ 0.12a
甘露醇	72.70 $\pm$ 0.43b	2.33 $\pm$ 0.12cd
蔗糖	65.07 $\pm$ 0.21e	2.53 $\pm$ 0.12c
麦芽糖	52.63 $\pm$ 0.10f	1.40 $\pm$ 0.20f
木糖	35.22 $\pm$ 0.45h	1.73 $\pm$ 0.23e
淀粉	43.49 $\pm$ 0.56g	2.13 $\pm$ 0.12d
葡萄糖	75.05 $\pm$ 0.35a	2.87 $\pm$ 0.12b

注:小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p<0.05$).

2.2 氮源对小孢拟盘多毛孢菌丝生长及产孢量的影响

研究结果显示,小孢拟盘多毛孢 CGJ-3 在不同氮源中菌丝生长速度与产孢量存在显著差异.除尿素外,所有供试氮源均能支持其生长和产孢,牛肉膏为最佳氮源,而以尿素为氮源的培养基上不产孢(表 2).

表 2 不同氮源对小孢拟盘多毛孢菌落直径及产孢量的影响

氮源	5 d 后菌落直径/mm	15 d 后产孢量/($\times 10^6$ 个/mL)
硝酸钾	42.75 $\pm$ 0.26h	2.13 $\pm$ 0.12c
硝酸钠	63.67 $\pm$ 0.14d	1.80 $\pm$ 0.00d
硝酸铵	65.60 $\pm$ 0.63c	1.47 $\pm$ 0.12e
硫酸铵	47.05 $\pm$ 0.73g	1.40 $\pm$ 0.20e
磷酸铵	21.48 $\pm$ 0.55i	1.60 $\pm$ 0.20de
牛肉膏	70.333 $\pm$ 0.67a	3.60 $\pm$ 0.20a
甘氨酸	53.00 $\pm$ 0.25e	2.20 $\pm$ 0.20c
甲硫氨酸	50.17 $\pm$ 0.13f	1.47 $\pm$ 0.12e
蛋白胨	68.72 $\pm$ 0.32b	2.53 $\pm$ 0.12b
尿素	0j	0f

注:小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p<0.05$).

2.3 温度对小孢拟盘多毛孢菌丝生长及产孢量的影响

研究结果显示,小孢拟盘多毛孢 CGJ-3 适宜生长温度为 23~29 ℃,菌落直径均在65.00 mm 以上,最适温度为 27 ℃,高于 30 ℃后菌落直径显著下降,35 ℃停止生长.适宜产孢温度为

25~27℃, 产孢量均大于等于 1.40×10^6 个/mL, 最适温度同样为 27℃, 而高于 30℃ 则显著抑制其生长和产孢(表 3)。

表 3 不同温度对小孢拟盘多毛孢菌落直径及产孢量的影响

温度/℃	5 d 后菌落直径/mm	15 d 后产孢量/($\times 10^6$ 个/mL)
23	71.10 $\pm$ 0.65c	0.93 $\pm$ 0.12c
25	74.10 $\pm$ 0.76b	1.40 $\pm$ 0.20b
27	80.25 $\pm$ 4.33a	2.80 $\pm$ 0.20a
29	65.03 $\pm$ 0.25d	0.47 $\pm$ 0.12d
33	24.62 $\pm$ 0.40e	0e
35	0f	0e

注: 小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p < 0.05$)。

2.4 光照对小孢拟盘多毛孢菌丝生长及产孢量的影响

研究结果显示, 不同光照对小孢拟盘多毛孢 CGJ-3 的菌丝生长与产孢量有显著影响, 完全光照条件下菌丝生长和产孢效果最佳, 而在完全黑暗条件下菌丝生长和产孢量显著降低, 呈现随光照减弱而降低的趋势(表 4)。

表 4 不同光照条件对小孢拟盘多毛孢菌落直径及产孢量的影响

光照	5 d 后菌落直径/mm	15 d 后产孢量/($\times 10^6$ 个/mL)
完全光照	78.80 $\pm$ 0.48c	1.53 $\pm$ 0.12c
光暗交替	72.77 $\pm$ 0.28b	0.93 $\pm$ 0.12b
完全黑暗	68.97 $\pm$ 0.68a	0.33 $\pm$ 0.12a

注: 小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p < 0.05$)。

2.5 pH 值对小孢拟盘多毛孢菌丝生长及产孢量的影响

研究结果显示, pH 值对小孢拟盘多毛孢 CGJ-3 的菌丝生长与产孢量有促进作用, 且均呈现先增长后降低的趋势。该菌在 pH 值为 4~12 的培养基上均能生长, 适宜生长 pH 值为 4~10, 最适 pH 值为 6。该菌在 pH 值为 4~11 时均能产孢, 适宜产孢的 pH 值为 5~9, 最佳 pH 值为 7(表 5)。

表 5 不同 pH 值对小孢拟盘多毛孢菌落直径及产孢量的影响

pH 值	5 d 后菌落直径/mm	15 d 后产孢量/($\times 10^6$ 个/mL)
4	66.17 $\pm$ 0.19d	0.87 $\pm$ 0.12f
5	72.83 $\pm$ 0.14b	2.20 $\pm$ 0.20c
6	75.25 $\pm$ 0.35a	3.33 $\pm$ 0.12b
7	73.10 $\pm$ 0.41b	5.20 $\pm$ 0.20a
8	67.30 $\pm$ 0.18c	1.87 $\pm$ 0.12d
9	65.63 $\pm$ 0.55d	1.53 $\pm$ 0.12e
10	60.05 $\pm$ 0.44e	0.87 $\pm$ 0.12f
11	54.87 $\pm$ 0.12f	0.60 $\pm$ 0.20g
12	40.00 $\pm$ 0.23g	0h

注: 小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p < 0.05$)。

2.6 小孢拟盘多毛孢菌丝致死温度

研究结果显示,经 45~60 ℃ 处理过的小孢拟盘多毛孢 CGJ-3 菌丝块在转移到新鲜的 PDA 培养基后 5 d 仍能生长;经 45~55 ℃ 处理过的菌丝块在转移后能产孢,而经 65~75 ℃ 处理过的菌丝块转移后停止生长,菌丝致死温度为 65 ℃ (表 6).

表 6 小孢拟盘多毛孢菌丝致死温度

处理温度/℃	菌丝生长	产孢
45	+	+
50	+	+
55	+	+
60	+	—
65	—	—
70	—	—
75	—	—

注:“+”表示菌丝生长或产孢,“—”表示菌丝不生长或不产孢.

3 结论与讨论

生物学特性研究表明,小孢拟盘多毛孢 CGJ-3 在不同碳氮源培养基上的菌丝生长与产孢存在显著差异,表明该菌在营养繁殖与生殖繁殖时的营养需求不同,这与前人研究中真菌菌丝生长与产孢、子实体产生时的营养需求存在差异的结论一致^[18-19]. 在不同碳源的培养基中,该菌均能生长和产孢,最适碳源为葡萄糖、甘露醇和山梨醇,而木糖表现最差,这与白术叶枯病小孢拟盘多毛孢在以蔗糖、麦芽糖和葡萄糖为碳源的培养基上生长较快的结果不同,也与同为豆蔻属寄主的阳春砂仁上拟盘多毛孢在以麦芽糖、葡萄糖和果糖为碳源的培养基上生长较快的情况不同^[20],可能与不同来源的菌株存在差异相关^[19]. 以果糖、葡萄糖、蔗糖、甘露醇和淀粉为碳源的培养基上小孢拟盘多毛孢产孢量较高,而以麦芽糖为碳源的培养基上产孢量最低. 小孢拟盘多毛孢菌丝生长与产孢的最适氮源均为牛肉膏和蛋白胨,而尿素效果最差,表明该菌偏好复合型有机氮.

温度对小孢拟盘多毛孢 CGJ-3 的生长具有显著影响,该菌在 23~33 ℃ 时均能生长,且在 23~29 ℃ 时生长良好. 高于 33 ℃ 则不利于菌丝生长,35 ℃ 时菌丝停止生长. 23~27 ℃ 时,菌落直径和产孢量均随温度的升高呈上升趋势,而在 29 ℃ 及以上时,菌落直径和产孢量则随温度的升高而下降. 小孢拟盘多毛孢在 23~29 ℃ 均能产孢,33 ℃ 及以上则不再产孢,菌丝生长和产孢的最适温度为 27 ℃. 本研究结果与白术上小孢拟盘多毛孢的最适温度为 25 ℃ 接近^[8],但与砂仁上的拟盘多毛孢最适生长温度为 30 ℃ 不同^[20],这可能与草果生长在海拔 1 500~2 500 m 的林荫下有关.

在不同光照条件下,小孢拟盘多毛孢 CGJ-3 菌丝生长差异不显著,而孢子产量存在明显差异. 完全光照下的产孢量最多,12 h 光照次之,完全黑暗条件下的产孢量最低. 此结果与光照对分离自白术和砂仁的小孢拟盘多毛孢的影响一致^[8, 20],但与核桃叶枯病原菌小孢拟盘多毛孢的情况截然不同^[10]. 草果喜阴凉,阳光直晒下,叶片易枯死. 在枯死的叶片上可分离到拟盘多毛孢、镰刀菌和链格孢,这可能是因为拟盘多毛孢容易侵染晒伤的叶片,并大量产孢,从而加

速叶片枯死。

在 pH 值为 4~12 时,小孢拟盘多毛孢 CGJ-3 菌丝均能生长,菌落直径和分生孢子产量呈先升高后下降的趋势,菌丝生长的最适 pH 值为 6,产孢的最适 pH 值为 7,这与分离自白术、核桃和砂仁的小孢拟盘多毛孢的最适生长 pH 值为 6 相同^[8, 10, 20]。

报道显示,0.25 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的咪鲜胺和吡唑醚菌酯能完全抑制柑橘上的小孢拟盘多毛孢,而曹氏甲托和多·锰锌对闽楠叶斑病小孢拟盘多毛孢的菌丝生长和孢子萌发均具有较高的抑制率^[21]。因此,在病害严重时,可采用这 4 种农药控制草果假茎黑斑病。从甘草分离的内生细菌抗菌活性评估结果表明,其对草果假茎黑斑病小孢拟盘多毛孢的相对抑菌率均不超过 25%^[22-23],该病原菌的生防研究仍需进一步的系统研究和田间验证。

致谢:

感谢红河学院 2011 级生物科学胡锐菊在培养基配置中提供的帮助。

参考文献:

- [1] 吴德邻. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1981.
- [2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2015 年版[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2018.
- [3] DAI M, PENG C, PENG F, et al. Anti-Trichomonas Vaginalis Properties of the Oil of *Amomum tsao-ko* and Its Major Component, Geraniol[J]. *Pharmaceutical Biology*, 2016, 54(3): 445-450.
- [4] SHIN J S, RYU S, JANG D S, et al. *Amomum tsao-ko* Fruit Extract Suppresses Lipopolysaccharide-Induced Inducible Nitric Oxide Synthase by Inducing Heme Oxygenase-1 in Macrophages and in Septic Mice[J]. *International Journal of Experimental Pathology*, 2015, 96(6): 395-405.
- [5] 宋启道, 何思翀, 阿普前, 等. 怒江傈僳族自治州草果产业发展思考和探讨[J]. *热带农业科学*, 2023, 43(10): 117-122.
- [6] GUO J W, YANG L F, LIU Y H, et al. First Report of Pseudostem Black Spot Caused by *Pestalotiopsis microspora* on *Tsao-ko* in Yunnan, China[J]. *Plant Disease*, 2016, 100(5): 1021.
- [7] 肖仲久, 李小霞, 段帅, 等. 麻风树叶枯病菌的鉴定[J]. *菌物学报*, 2010, 29(6): 874-878.
- [8] 肖仲久, 李小霞. 白术叶枯病病原菌鉴定及其生物学特性研究[J]. *热带作物学报*, 2013, 34(5): 973-977.
- [9] 吴望, 吴玉珠, 胡军华, 等. “恩科尔”果斑病主要致病菌的分离与鉴定及药剂筛选[J]. *果树学报*, 2020, 37(11): 1723-1732.
- [10] 樊炳君, 赵玉美, 陈俊珠, 等. 云南核桃叶枯病病原鉴定及其生物学特性[J]. *植物保护*, 2020, 46(3): 123-130.
- [11] 吴玉珠, 陈娜, 胡军华, 等. 青脆李枯萎病致病菌的分离鉴定及药剂筛选[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2022, 48(3): 298-304.
- [12] 程宇豪, 黄小贞, 张金峰, 等. 贵州茶叶斑点病病原系统发育学分析与生物学特性[J]. *分子植物育种*, 2022, 20(13): 4468-4476.
- [13] 孙会杰, 高德学, 程洪森, 等. 芝麻棒孢根腐病原菌生物学特性研究[J]. *沈阳农业大学学报*, 2020, 51(4): 506-511.
- [14] 聂雨希, 秦玉宝, 张瑞璇, 等. 川渝地区稻曲病菌的生物学特性研究[J]. *植物医生*, 2021, 34(6): 11-18.
- [15] 杨丽芬, 孔垂思, 郭建伟, 等. 云南墨兰炭疽病的病原菌鉴定、致病性及生物学特性研究[J]. *西南农业学报*, 2017, 30(9): 2003-2009.
- [16] 周德庆. 微生物实验教程: 第 2 版[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [17] 张文彤. SPSS 11 统计分析教程: 高级篇(附光盘)[M]. 北京: 北京希望电子出版社, 2002.
- [18] SUN M H, LIU X Z. Carbon Requirements of Some Nematophagous, Entomopathogenic and Mycoparasitic

- Hyphomycetes as Fungal Biocontrol Agents[J]. *Mycopathologia*, 2006, 161(5): 295-305.
- [19] GUO J W, YU Z F, QIAO M, et al. Effects of Carbon and Nitrogen Sources on Sexual Reproduction of Five Strains from the Ascomycete *Orbilia*[J]. *Annals of Microbiology*, 2009, 59(1): 51-55.
- [20] 练启仙, 桑维钧, 杨茂发. 砂仁叶枯病病原菌生物学特性的研究[J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2011, 36(3): 119-124.
- [21] 陈全助, 叶小真, 吴松, 等. 闽楠叶斑病化学杀菌剂与抑菌植物室内筛选[J]. *福建林业科技*, 2020, 47(3): 40-44, 109.
- [22] MOHAMAD O A A, LI L, MA J B, et al. Evaluation of the Antimicrobial Activity of Endophytic Bacterial Populations from Chinese Traditional Medicinal Plant Licorice and Characterization of the Bioactive Secondary Metabolites Produced by *Bacillus atrophaeus* Against *Verticillium dahliae*[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2018, 9: 924.
- [23] 祖丽皮亚木·木沙尔, 李丽, 郭建伟, 等. 甘草内生细菌对 4 种植物病原菌的抑菌谱及其 16S rRNA 系统发育分析[J]. *西北农业学报*, 2018, 27(9): 1367-1374.

责任编辑 苏荣艳