

引用格式:

蔡海林, 谢林, 邢云飞, 徐灵超, 李开来, 李建勇, 何昊欣, 黄彬彬, 刘清术, 陈武. 长沙烟草赤星病致病菌的生物学特性及其防治药剂筛选[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2026, 52(1): 25–32.

CAI H L, XIE L, XING Y F, XU L C, LI K L, LI J Y, HE H X, HUANG B B, LIU Q S, CHEN W. Biological characteristics of the pathogen causing tobacco brown spot in Changsha and screening of its control agents[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2026, 52(1): 25–32.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



长沙烟草赤星病致病菌的生物学特性及其 防治药剂筛选

蔡海林¹, 谢林², 邢云飞³, 徐灵超⁴, 李开来⁴, 李建勇¹, 何昊欣², 黄彬彬⁵, 刘清术⁵, 陈武^{2*}

(1. 湖南省烟草公司长沙市公司, 湖南 长沙 410023; 2. 湖南农业大学植物保护学院, 湖南 长沙 410128;

3. 湖南中烟工业有限责任公司, 湖南 长沙 410007; 4. 湖南省宁乡市农业农村局, 湖南 宁乡 410600;

5. 湖南省微生物研究所, 湖南 长沙 410009)

摘要: 赤星病是长沙烟区危害烟叶安全生产的主要叶面病害之一, 前期研究表明细极链格孢(*Alternaria tenuissima*)和链格孢(*A. alternata*)是长沙烟区赤星病的致病菌。为明确2种致病菌的生物学特性, 本研究分别比较了温度、光照、碳源和氮源对菌丝生长和产孢量的影响, 分析了9种化学药剂对病原菌的室内毒力, 并筛选出毒力强的药剂进行大田试验。生物学特性试验结果表明: 细极链格孢和链格孢的最适生长温度分别为25 °C和30 °C; 细极链格孢的最适碳源和氮源分别为葡萄糖和硝酸钠, 暗培养有利于其产孢; 链格孢的最适碳源和氮源分别为麦芽糖和蛋白胨, 12 h黑暗12 h光照培养有利于其产孢。室内毒力测定结果表明, 9种化学药剂对2种链格孢的毒力差异较大, 对细极链格孢室内毒力最强的为氟啶胺(EC_{50} 为1.326 2 mg/L), 最弱的为噻呋酰胺(EC_{50} 为5 121.437 3 mg/L); 对链格孢室内毒力最强的为氟啶胺(EC_{50} 为0.004 8 mg/L), 最弱的为啶氧菌酯(EC_{50} 为8 052.050 0 mg/L)。大田试验结果表明, 40%菌核净的防效为67.70%, 其后依次为500 g/L氟啶胺(66.66%)、32.5%苯甲·啉菌酯(54.86%)和50%啶酰菌胺(25.50%)。综合室内毒力测定与大田试验结果, 建议长沙烟区赤星病的化学防控以交替施用40%菌核净、500 g/L氟啶胺和32.5%苯甲·啉菌酯为宜。

关键词: 烟草赤星病; 细极链格孢; 链格孢; 生物学特性; 室内毒力测定; 防效; 长沙烟区

中图分类号: S435.72

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2026)01-0025-08

Biological characteristics of the pathogen causing tobacco brown spot in Changsha and screening of its control agents

CAI Hailin¹, XIE Lin², XING Yunfei³, XU Lingchao⁴, LI Kailai⁴, LI Jianyong¹,

HE Haoxin², HUANG Binbin⁵, LIU Qingshu⁵, CHEN Wu^{2*}

(1. Changsha Branch of Hunan Tobacco Company, Changsha, Hunan 410023, China; 2. College of Plant Protection, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 3. China Tobacco Hunan Industrial Co., Ltd., Changsha, Hunan 410007, China; 4. Ningxiang Municipal Bureau of Agriculture and Rural Affairs of Hunan Province, Ningxiang, Hunan 410600, China; 5. Hunan Provincial Institute of Microbiology, Changsha, Hunan 410009, China)

Abstract: Brown spot disease is one of the main foliar diseases endangering the safe production of tobacco leaves in the Changsha tobacco-growing area. Previous studies have shown that *Alternaria tenuissima* (*A. tenuissima*) and *Alternaria alternata* (*A. alternata*) are the pathogenic fungi of brown spot disease in the Changsha tobacco-growing area. To clarify

收稿日期: 2025-03-12

修回日期: 2025-10-15

基金项目: 湖南省烟草公司长沙市公司科技项目(CS2022KJ02); 中国烟草总公司湖南省公司科技项目(HN2024KJ04); 湖南中烟工业有限责任公司科技项目(KY2025JD0004)

作者简介: 蔡海林(1979—), 男, 湖南澧县人, 博士, 高级农艺师, 主要从事烟草病虫害防治技术研究, hailincai@126.com; *通信作者, 陈武, 博士, 副教授, 主要从事植物病害生物防治、病原微生物与植物互作研究, chenwuwarrior@163.com

the biological characteristics of the two pathogens, this study compared the effects of temperature, light, carbon sources, and nitrogen sources on mycelial growth and sporulation. Furthermore, the indoor toxicity of nine chemical agents against the pathogens was investigated, and highly effective agents were selected for field trials. The biological characteristics experiments revealed that the optimal growth temperatures for *A. tenuissima* and *A. alternata* were 25 °C and 30 °C, respectively. The optimal carbon and nitrogen sources for *A. tenuissima* were glucose and sodium nitrate, and dark culture promoted sporulation. For *A. alternata*, the optimal carbon and nitrogen sources were maltose and peptone, and a 12 h dark/12 h light cycle favored sporulation. Indoor toxicity tests indicated significant differences in the toxicity of the nine fungicides against the two *Alternaria* species. For *A. tenuissima*, fluazinam exhibited the strongest toxicity($EC_{50}=1.326\ 2\ \text{mg/L}$), while thifluzamide was the weakest($EC_{50}=5\ 121.437\ 3\ \text{mg/L}$). For *A. alternata*, fluazinam showed the highest toxicity ($EC_{50}=0.004\ 8\ \text{mg/L}$), and picoxystrobin was the least effective($EC_{50}=8\ 052.050\ 0\ \text{mg/L}$). Field trial results demonstrated that 40% dimetachlone achieved a control efficacy of 67.70%, followed by 500 g/L fluazinam(66.66%), 32.5% benzoyl-azoxystrobin(54.86%), and 50% boscalid(25.50%). Based on the indoor toxicity and field trial results, alternating applications of 40% dimetachlone, 500 g/L fluazinam, and 32.5% benzoyl-azoxystrobin are recommended for chemical control of brown spot disease in the Changsha tobacco-growing area.

Keywords: tobacco brown spot disease; *A.tenuissima*; *A.alternata*; biological characteristics; indoor toxicity assay; control efficacy; Changsha tobacco-growing area

烟草赤星病是由链格孢属真菌侵染导致的叶面病害,其潜伏期短、流行速度快^[1-3]。统计表明,2002年该病害导致我国烟叶减产约 $1.968\ 77\times 10^7\ \text{kg}$,直接经济损失高达1.77亿元^[4-5]。国内已报道的赤星病致病菌主要为链格孢(*A. alternata*)、细极链格孢(*A. tenuissima*)、长柄链格孢(*A. longipes*)和鸭梨链格孢(*A. yaliinficiens*)等4种^[6-14],但各烟区赤星病的致病菌种类存在显著的地域性差异,如云南烟区以链格孢(*A. alternata*)和长柄链格孢(*A. longipes*)为主,而河南烟区和湖北烟区的赤星病菌包括链格孢(*A. alternata*)、细极链格孢(*A. tenuissima*)、长柄链格孢(*A. longipes*)和鸭梨链格孢(*A. yaliinficiens*)等^[6,12,14]。前期研究发现长沙烟区赤星病的致病菌为链格孢和细极链格孢,且细极链格孢为优势致病菌^[15]。

研究病原菌的生物学特性是建立病害流行预警机制的重要基础。刘洋等^[16]和唐明等^[17]分别对贵州、宜宾地区烟草赤星病菌进行了培养观察,发现其对温度的适应范围较广,5~35 °C均能生长,最适生长温度为20~30 °C,低于5 °C或高于35 °C时菌丝生长速率显著降低。杜雷等^[18]和彭坤等^[19]发现光暗交替培养能促进菌丝生物量积累和孢子形成。但上述研究未对链格孢属不同种间的生物学特性进行比较分析,不利于提升病害区域性预测模型的构建精度与预测准确性。

生产上烟草赤星病仍以化学防控为主,研究人

员针对该病害的药剂筛选也开展了一些研究。大田试验结果^[20-23]表明,40%菌核净可湿性粉剂对该病害具有较好的防效。黄艳飞等^[24]测定了95.30%氟硅唑、96%醚菌酯和96.80%啞菌酯原药对赤星病菌的室内毒力,但缺乏大田试验验证。另有研究表明苯醚甲环唑、肟菌酯·戊唑醇和苯醚甲环唑·丙环唑等药剂在田间表现出良好的防效,其中苯醚甲环唑的防效可达90%以上^[25]。氟啶胺作为新型杀菌剂也被证实具有应用价值^[26]。值得注意的是,目前针对长沙烟区赤星病致病菌的药剂筛选尚少见报道,当地烟农多依赖经验用药,存在针对性不强和防效不佳等问题,亟须建立基于该区域实际情况的科学施药方案。

本文研究了长沙烟区2种赤星病菌的生物学特性,评价了9种药剂对链格孢和细极链格孢的室内毒力,并通过大田试验优选出防效较高的化学药剂,以为长沙烟区赤星病的流行监测和高效防控提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试的链格孢和细极链格孢均由湖南农业大学植物保护学院植物病虫害生物学与防控湖南省重点实验室提供。9种供试药剂的基本信息见表1。

表1 室内毒力测定所用药剂

Table 1 Pesticides for indoor toxicity assay		
药剂名称	剂型	生产厂家
80%代森锰锌	可湿性粉剂	利民化学有限责任公司
10%多抗霉素	可湿性粉剂	日本科研制药株式会社
500 g/L氟啶胺	悬浮剂	日本石原产业株式会社
22.5%啶氧菌酯	悬浮剂	美国杜邦公司
50%啶酰菌胺	水分散粒剂	巴斯夫欧洲公司
40%菌核净	可湿性粉剂	江西禾益化工股份有限公司
52.5%噁酮·霜脍氰	水分散粒剂	美国杜邦公司
32.5%苯甲·嘧菌酯	悬浮剂	先正达南通作物保护有限公司
240 g/L噻呋酰胺	悬浮剂	重庆依尔双丰科技有限公司

1.2 方法

1.2.1 病原菌生物学特性测定

1) 温度对菌丝生长的影响。病原菌培养7 d后,取菌落边缘处直径6 mm的菌饼接种至PDA培养基上,分别置于15、20、25、30、35 °C的恒温培养箱中暗培养,7 d后采用十字交叉法测量菌落直径,每个温度重复3次^[27]。

2) 光照对产孢量的影响。病原菌培养7 d后,按上述方法取菌饼接种至PDA培养基上,分别置于24 h光照(A1)、16 h光照8 h黑暗(A2)、12 h光照12 h黑暗(A3)、8 h光照16 h黑暗(A4)和24 h黑暗(A5)的恒温培养箱中25 °C培养,每个条件设3个重复,7 d后用血球计数板计算产孢量。

3) 不同碳源对菌丝生长的影响。以察氏培养基(硝酸钠3.0 g、磷酸氢二钾1.0 g、硫酸镁0.5 g、氯化钾0.5 g、硫酸亚铁0.01 g、蔗糖30.0 g、琼脂粉15.0 g,用蒸馏水定容至1 000 mL)为基础培养基,各处理组分别加入等量的葡萄糖(B1)、麦芽糖(B2)、乳糖(B3)、可溶性淀粉(B4)、蔗糖(B5)、D-山梨醇(B6),以不加碳源的培养基为对照(CK),在恒温培养箱中25 °C暗培养7 d,参考文献^[27]的方法测量菌落直径。

4) 不同氮源对菌丝生长的影响。以察氏培养基为基础培养基,各处理组分别加入等量的硝酸钠(C1)、酵母粉(C2)、蛋白胨(C3)、硫酸铵(C4)、氯化铵(C5),以不加氮源的培养基为对照组,在恒温培养箱中25 °C暗培养7 d,参考文献^[27]的方法测量菌落直径。

1.2.2 化学药剂的室内毒力测定

将9种化学药剂分别加入培养基中混匀,制成含不同浓度药剂的PDA平板(表2)。将病原菌在不加

药剂的PDA平板上活化培养7 d后取直径为6 mm的菌饼接种至含药PDA平板上,以不加药剂的PDA平板作为对照组,在恒温培养箱中25 °C暗培养7 d,采用十字交叉法测量菌落直径,计算药剂对菌丝生长的抑制率和半数有效浓度 EC_{50} ^[28],每个药剂浓度3次重复。各药剂浓度见表2。

表2 供试药剂及浓度

Table 2 Fungicides and concentrations tested	
药剂名称	处理浓度/(mg·L ⁻¹)
50%啶酰菌胺	200.0、100.0、50.0、25.0、12.5
32.5%苯甲·嘧菌酯	100、50、10、5、1
500 g/L氟啶胺	100、50、10、5、1
40%菌核净	100、50、10、5、1
240 g/L噻呋酰胺	2 000、1 000、500、250、125
52.5%噁酮·霜脍氰	1 000.0、500.0、250.0、125.0、62.5
22.5%啶氧菌酯	1 000.0、500.0、250.0、125.0、62.5
10%多抗霉素	50.0、25.0、5.0、2.5、1.0
80%代森锰锌	200.0、100.0、50.0、25.0、12.5

1.2.3 大田试验

选择室内毒力最强的4种化学药剂进行大田试验。大田试验地点位于长沙市宁乡市横市镇,每个处理设4次重复,小区随机区组排列,各小区均间隔一行作为物理隔离,小区面积40 m²,以喷施清水作为对照。

大田试验共施药2次,于赤星病初始发生期第1次叶面喷施药剂(药剂浓度见表3),药后15 d喷施第2次。分别在第1次施药前、第1次施药后15 d和第2次施药后15 d各调查1次发病率与病级,并计算病情指数与防效。调查方法按GB/T 23222—2008《烟草病虫害分级及调查方法》执行^[29]。

表3 大田试验处理及药剂浓度

Table 3 Field trial treatments and fungicide application rates	
处理	施药浓度/(g·hm ⁻²)
清水对照CK	0
40%菌核净	360
32.5%苯甲·嘧菌酯	300
500 g/L氟啶胺	300
50%啶酰菌胺	375

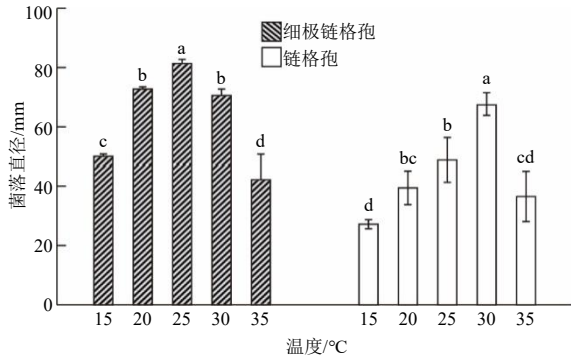
2 结果与分析

2.1 病原菌的生物学特性

2.1.1 温度对菌丝生长的影响

通过十字交叉法测量培养7 d后各处理的菌落直径,结果表明细极链格孢和链格孢在15~35 °C时均

能生长(图1)。在15~25℃的温度区间内, 细极链格孢的菌落直径随着温度升高而逐渐增大, 当温度为25℃时, 其菌落直径最大; 此后, 随着温度升高, 菌落直径反而减小, 说明其最适生长温度为25℃。链格孢的菌落直径在30℃时达到最大, 高于或低于此温度菌落直径变小, 说明其最适生长温度为30℃。



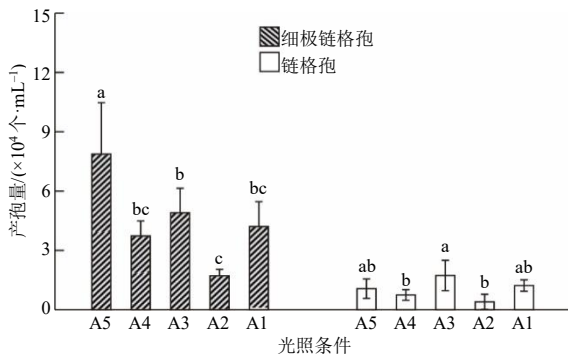
同一菌落不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

图1 不同培养温度下2种链格孢的菌落直径

Fig. 1 Colony diameters of the two *Alternaria* species cultured at different temperatures

2.1.2 光照对产孢量的影响

研究表明在5种光照条件下病原菌均能产孢, 但细极链格孢的产孢量高于链格孢的(图2)。随着光照时长的增加, 细极链格孢和链格孢的产孢量均呈高-低-高-低-高的趋势。24 h黑暗培养(A5)时细极链格孢的产孢量最大, 而12 h光照12 h黑暗(A3)培养时链格孢的产孢量最大。



同一菌落不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

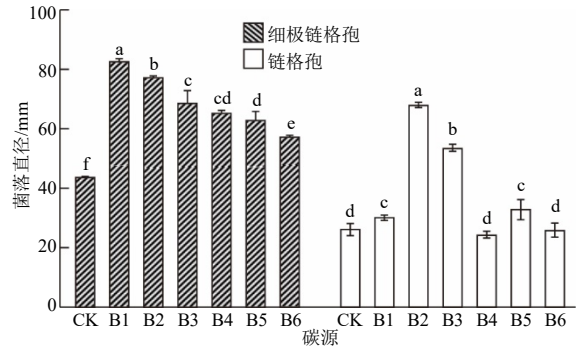
图2 不同光照条件下2种链格孢的产孢量

Fig. 2 Sporulation quantities of the two *Alternaria* species under different light/dark culture conditions

2.1.3 不同碳源对菌丝生长的影响

以察氏培养基为基础培养基, 比较了6种碳源对2种链格孢菌丝生长的影响。结果(图3)表明, 细极链格孢和链格孢均能利用6种供试碳源, 其中细

极链格孢以葡萄糖(B1)为碳源时生长速度最快, 在D-山梨醇(B6)上生长较慢, 但均显著高于CK的; 而链格孢的最佳碳源为麦芽糖(B2), 以乳糖(B3)、蔗糖(B5)和葡萄糖(B1)为碳源时的生长速度显著高于CK的, 以可溶性淀粉(B4)和D-山梨醇(B6)为碳源时的生长速度与CK的差异不显著。



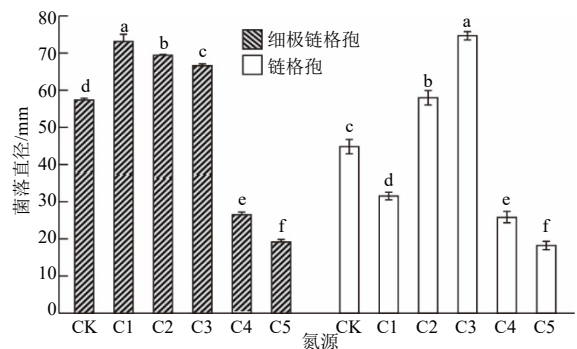
同一菌落不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

图3 不同碳源培养条件下2种链格孢的菌落直径

Fig. 3 Colony diameters of the two *Alternaria* species cultured on different carbon sources

2.1.4 不同氮源对菌丝生长的影响

以察氏培养基为基础培养基, 比较了5种氮源对2种链格孢菌丝生长的影响。结果(图4)表明, 细极链格孢和链格孢均能利用5种供试氮源, 且在不同氮源上的生长速度差异显著。当氮源为硝酸钠(C1)、酵母粉(C2)、蛋白胨(C3)时, 细极链格孢的生长速度均显著高于CK的, 其中硝酸钠为最适氮源; 当氮源为硫酸铵(C4)或氯化铵(C5)时, 其生长速度低于CK的。当氮源为蛋白胨(C3)和酵母粉(C2)时, 链格孢的生长速度显著高于CK的, 其中蛋白胨为最适氮源; 而当氮源为硝酸钠(C1)、硫酸铵(C4)或氯化铵(C5)时, 其生长速度显著低于CK的。



同一菌落不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

图4 不同氮源培养条件下2种链格孢的菌落直径

Fig. 4 Colony diameters of the two *Alternaria* species cultured on different nitrogen sources

2.2 9种药剂的室内毒力测定

室内毒力测定结果表明, 9种供试药剂对细极链格孢和链格孢的室内毒力存在明显差异(表4)。药剂对细极链格孢的室内毒力由高到低依次为500 g/L氟啶胺、32.5%苯甲·嘧菌酯、40%菌核净、50%啶酰菌胺、80%代森锰锌、10%多抗霉素、52.5%噁酮·霜脲氰、22.5%啶氧菌酯、240 g/L噻呋酰胺; 对链格孢的室内毒力由高到低依次为500 g/L氟啶胺、

32.5%苯甲·嘧菌酯、50%啶酰菌胺、40%菌核净、80%代森锰锌、52.5%噁酮·霜脲氰、240 g/L噻呋酰胺、10%多抗霉素、22.5%啶氧菌酯。结果表明, 500 g/L氟啶胺对细极链格孢和链格孢的EC₅₀分别为1.326 2 mg/L和0.004 8 mg/L, 其对2种链格孢的室内毒力最强; 240 g/L噻呋酰胺对细极链格孢的毒力最弱, EC₅₀为5 121.437 3 mg/L, 22.5%啶氧菌酯对链格孢的毒力最弱, EC₅₀为8 052.050 0 mg/L。

表4 9种药剂对细极链格孢和链格孢的室内毒力

Table 4 Indoor toxicity of 9 fungicides against *A. tenuissima* and *A. alternata*

药剂名称	菌种	毒力回归方程	相关系数R ²	EC ₅₀ /(mg·L ⁻¹)
50%啶酰菌胺	细极链格孢	y=0.376 8x+4.284 2	0.932 8	79.374 6
	链格孢	y=0.259 6x+4.795 6	0.958 7	6.128 7
32.5%苯甲·嘧菌酯	细极链格孢	y=0.714 9x+4.749 1	0.988 9	2.243 7
	链格孢	y=0.472 5x+5.040 0	0.996 2	0.822 9
500 g/L氟啶胺	细极链格孢	y=0.455 1x+4.944 2	0.975 4	1.326 2
	链格孢	y=0.220 6x+5.515 2	0.996 7	0.004 8
40%菌核净	细极链格孢	y=1.954 3x+3.069 9	0.994 1	9.753 3
	链格孢	y=4.717 2x+0.069 7	0.953 4	11.875 0
240 g/L噻呋酰胺	细极链格孢	y=1.649 3x-1.117 9	0.954 0	5 121.437 3
	链格孢	y=1.324 0x+0.403 4	0.953 5	2 963.140 6
52.5%噁酮·霜脲氰	细极链格孢	y=0.899 4x+2.556 9	0.971 0	558.351 9
	链格孢	y=1.033 0x+2.520 5	0.972 6	251.356 7
22.5%啶氧菌酯	细极链格孢	y=0.151 3x+4.561 1	0.964 8	795.901 3
	链格孢	y=1.073 4x+0.807 4	0.993 5	8 052.050 0
10%多抗霉素	细极链格孢	y=0.094 2x+2.858 7	0.916 1	233.437 6
	链格孢	y=0.255 2x+4.091 5	0.964 2	3 630.387 5
80%代森锰锌	细极链格孢	y=1.302 6x+2.176 9	0.968 6	146.987 6
	链格孢	y=1.988 5x+0.339 8	0.990 9	220.584 8

2.3 化学药剂防控赤星病的大田试验

结合室内毒力测定结果, 选择毒力较强的500 g/L氟啶胺、32.5%苯甲·嘧菌酯、40%菌核净和50%啶酰菌胺共4种药剂进行大田试验。调查结果(表5)表明, 第1次施药后15 d, CK的病情指数显著高于处理组的; 各药剂对烟草赤星病均有一定的防治效果, 由高到低依次为40%菌核净(57.85%)、500 g/L氟啶胺(57.13%)、32.5%苯甲·嘧菌酯(52.13%)和50%啶酰菌胺(42.13%), 各处理间的防效无显著差异。第2次

施药后15 d, 施用40%菌核净、32.5%苯甲·嘧菌酯和500 g/L氟啶胺后病情指数均显著低于CK的, 但50%啶酰菌胺与CK的病情指数无显著差异; 各药剂的相对防效依次为40%菌核净(67.70%)、500 g/L氟啶胺(66.66%)、32.5%苯甲·嘧菌酯(54.86%)和50%啶酰菌胺(25.50%), 40%菌核净、32.5%苯甲·嘧菌酯和500 g/L氟啶胺的防效相当, 但均显著高于50%啶酰菌胺的。

表5 4种药剂对烟草赤星病的大田防效

Table 5 Field control efficacy of 4 fungicides against tobacco brown spot

处理	第1次药后15 d		第2次药后15 d	
	病情指数	相对防效/%	病情指数	相对防效/%
40%菌核净	(4.10±1.39)b	57.85±14.26	(4.30±1.90)c	(67.70±14.29)a
32.5%苯甲·嘧菌酯	(4.65±1.25)b	52.13±12.86	(6.04±2.70)bc	(54.86±20.30)a
500 g/L氟啶胺	(4.17±1.18)b	57.13±12.13	(4.44±2.13)c	(66.66±16.05)a
50%啶酰菌胺	(5.63±1.44)b	42.13±14.82	(9.93±1.42)ab	(25.50±10.68)b
CK	(9.72±2.27)a		(13.33±5.80)a	

注: 表中数据为平均值±标准差; 同列数字后不同小写字母表示处理间的差异有统计学意义(P<0.05)。

3 讨论

本文研究了细极链格孢和链格孢的生物学特性,发现二者最适生长温度分别为25 °C和30 °C,与黎妍妍等^[30]的报道存在差异;光照对产孢数量的影响分析结果表明,细极链格孢在24 h黑暗条件下分生孢子产量最高,与甜瓜黑斑病菌的产孢条件一致^[31];而链格孢在12 h光照12 h黑暗条件下产孢量最高,与黄瓜致病菌株的研究结果一致^[32];碳源、氮源筛选结果显示,链格孢对麦芽糖(碳源)和蛋白胨(氮源)的偏好与黎妍妍等^[30]的报道一致,但细极链格孢的最适碳源(葡萄糖)和氮源(硝酸钠)与其不同,这可能是由不同地区病原菌的分化所致。

室内毒力测定结果表明,32.5%苯甲·嘧菌酯、40%菌核净和500 g/L氟啶胺对细极链格孢和链格孢都具有较强的室内毒力。氟啶胺为吡啶胺衍生物,属于二硝基苯胺类杀菌剂,其杀菌机制主要是抑制病原菌线粒体的氧化磷酸化过程^[33-34];马爱红等^[35]的研究表明,氟啶胺对链格孢和细极链格孢均具有较强的毒力。苯甲·嘧菌酯由苯醚甲环唑和嘧菌酯混配而成,苯醚甲环唑属于甾醇脱甲基抑制剂(DMI)类杀菌剂,其作用机理是干扰病原菌的甾醇合成,使真菌无法正常生长^[36]。嘧菌酯属于甲氧基丙烯酸酯类(QoIs)杀菌剂,通过抑制线粒体的呼吸作用来抑制病菌的繁殖和生长^[37],廖振军等^[38]和木扎帕尔·吐鲁洪等^[39]发现苯甲·嘧菌酯对链格孢和细极链格孢均具有较好的抑制效果。菌核净属于二甲酰亚胺类杀菌剂,通过抑制渗透压信号通路的双组分组氨酸激酶活性进而抑制病菌生长^[40-41]。

啶酰菌胺和噻呋酰胺都属于琥珀酸脱氢酶抑制剂(SDHI)类杀菌剂,其作用机理是阻断病菌线粒体呼吸链上的电子传递,从而抑制其生长和繁殖^[42]。本研究发现啶酰菌胺和噻呋酰胺对分离自烟草的链格孢和细极链格孢的抑制作用较弱,这与AVENOT等^[43]的研究结果一致。研究表明已有20多种病原菌对SDHI类杀菌剂产生了抗药性^[44],原因是该类杀菌剂作用位点单一且靶标蛋白存在较高的变异率^[45],推测啶酰菌胺和噻呋酰胺对2种链格孢的抑制作用弱也是因为靶标蛋白变异所致。

噁酮·霜脲氰由噁唑菌酮和霜脲氰混配而成。噁唑菌酮和啶氧菌酯都属于甲氧基丙烯酸酯(QoIs)类杀菌剂,其作用机理与嘧菌酯相同^[37];霜脲氰属于乙酰胺类杀菌剂,其作用机理尚不明确^[46]。

代森锰锌属于二硫代氨基甲酸酯类杀菌剂,其主要作用机理是通过破坏线粒体呼吸作用、抑制巯基酶活性、破坏细胞膜和蛋白合成来杀死病原菌^[47]。代森锰锌是非内吸性杀菌剂,容易因雨水冲刷导致病原菌暴露于亚致死剂量从而产生抗药性^[48]。本研究发现代森锰锌对2种链格孢的室内毒力低,原因可能是长沙烟区长期使用该药剂导致病原菌产生了抗药性。

多抗霉素属于抗生素类杀菌剂,其作用机理是干扰病原菌细胞壁几丁质的合成,使芽管和菌丝膨大、破裂、内含物溢出^[49]。病原菌可通过细胞膜上的外排蛋白把多抗霉素排出胞外,从而产生抗药性^[49]。本研究结果表明多抗霉素对2种链格孢的抑制作用较弱,与彭世逞等^[50]的研究结果一致。

室内毒力测定中还发现啶酰菌胺、苯甲·嘧菌酯、氟啶胺、噻呋酰胺和噁酮·霜脲氰对细极链格孢的EC₅₀大于对链格孢的EC₅₀,而菌核净、啶氧菌酯、多抗霉素和代森锰锌对细极链格孢的EC₅₀值小于对链格孢的EC₅₀。这一发现可为不同烟区针对性选择防控药剂提供参考。

4 结论

本文研究了长沙烟区赤星病菌的生物学特性并筛选了防控药剂。生物学特性研究结果表明,细极链格孢的最适生长温度为25 °C,最适碳源、氮源分别为葡萄糖和硝酸铵,最适产孢条件为24 h黑暗培养;链格孢的最适生长温度为30 °C,最适碳源、氮源分别为麦芽糖和蛋白胨,最适产孢条件为12 h光照12 h暗培养。室内毒力测定研究结果表明,500 g/L氟啶胺、32.5%苯甲·嘧菌酯和40%菌核净对2种链格孢均具有较强的毒力,EC₅₀为0.004 8~11.875 0 mg/L。大田试验结果表明,40%菌核净、500 g/L氟啶胺和32.5%苯甲·嘧菌酯对烟草赤星病的田间防治效果较好,相对防效分别为67.70%、66.66%和54.86%。结合室内毒力测定和大田试验结果,推荐交替施用

40%菌核净、500 g/L氟啶胺和32.5%苯甲·嘧菌酯来防控长沙烟区的烟草赤星病。

参考文献:

- [1] 蒋士君, 吴元华. 烟草病理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- [2] JING C L, ZHAO J, HAN X B, et al. Essential oil of *Syringa oblata* Lindl. as a potential biocontrol agent against tobacco brown spot caused by *Alternaria alternata*[J]. *Crop Protection*, 2018, 104: 41–46.
- [3] WANG D K, LI Y C, YUAN Y, et al. Biocontrol efficacy of *Bacillus siamensis* LZ88 against brown spot disease of tobacco caused by *Alternaria alternata*[J]. *Biological Control*, 2022, 159: 104901.
- [4] 郭映秀, 陈德凤. 烤烟赤星病的发生规律及防治对策分析[J]. *种子科技*, 2020, 38(11): 90–93.
- [5] 谭仲夏, 杨龙祥. 烟草赤星病的生物防治研究现状及展望[J]. *中国烟草学报*, 2005, 11(3): 34–38.
- [6] 彭希文, 刘光珍, 杨永柱, 等. 云南省烟草赤星病(Tobacco brown spot)病原研究及其防治药剂的筛选[J]. *西南农业大学学报*, 2000, 22(2): 153–156.
- [7] 耿莉娜, 帅红, 赵敏, 等. 重庆巫溪烟区烟草赤星病病原鉴定[J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(8): 181–183.
- [8] 关博元, 肖崇刚, 陈国康, 等. 重庆市烟草赤星病菌致病力测定[J]. *植物保护*, 2007, 33(3): 62–64.
- [9] 唐承成, 曾琛, 姜于兰, 等. 贵州省烟草赤星病病原菌的鉴定[J]. *湖北农业科学*, 2015, 54(15): 3656–3658.
- [10] 胡晓莉, 蒋彩虹, 耿锐梅, 等. 山东部分地区烟草赤星病病原菌的形态学与分子生物学鉴定[J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(11): 82–86.
- [11] 成巨龙, 安德荣. 陕西烟草赤星病的病原鉴定[J]. *陕西农业科学*, 1997(3): 21–22.
- [12] 祖艳青, 蒋士君, 王海涛, 等. 河南省烟草赤星病病原鉴定[J]. *中国烟草学报*, 2013, 19(4): 73–77.
- [13] 牛俊轲, 卢宝慧, 刘丽萍, 等. 吉林省和黑龙江省烟草赤星病病原鉴定[J]. *中国烟草科学*, 2019, 40(5): 52–59.
- [14] 杨涛, 黎妍妍, 郑露, 等. 湖北烟区烤烟赤星病病原鉴定[J]. *中国烟草科学*, 2017, 38(5): 32–38.
- [15] 谢林, 蔡海林, 李建勇, 等. 长沙烟区烟草赤星病病害调查与病原菌鉴定[J]. *中国烟草科学*, 2025, 46(2): 45–51.
- [16] 刘洋, 曾琛, 向红琼, 等. 贵州省烟草赤星病菌生物学特性研究[J]. *广东农业科学*, 2012, 39(9): 77–79.
- [17] 唐明, 向金友, 谢冰, 等. 宜宾烤烟赤星病致病力分化、生物学特性及抑菌药剂筛选研究[J]. *天津农业科学*, 2016, 22(10): 96–101.
- [18] 杜雷, 张乐, 高智谋, 等. 安徽烟草赤星病菌生物学特性及致病力分化研究[J]. *中国烟草学报*, 2009, 15(1): 39–43.
- [19] 彭坤, 王士良, 刘富, 等. 烟草赤星病病原菌生物学特性及致病性研究[J]. *现代农业科技*, 2021(2): 78–80.
- [20] 李宏光, 周志成, 钟权, 等. 7种药剂防治烟草赤星病的田间药效试验[J]. *湖南农业科学*, 2012(16): 28–29.
- [21] 张权, 白茂军, 潘首慧, 等. 不同药剂防治烟草赤星病的药效试验[J]. *云南农业科技*, 2024(3): 36–37.
- [22] 刘强华, 陈永林, 胡定邦, 等. 不同药剂防治烟草赤星病药效研究[J]. *现代农业科技*, 2013(16): 97–99.
- [23] 陈维林, 尚峰, 罗元雄, 等. 烟草赤星病发生为害调查及药剂防治试验[J]. *江西农业学报*, 2014, 26(2): 85–88.
- [24] 黄艳飞, 汪汉成, 陈庆元, 等. 六种杀菌剂对烟草赤星病菌菌丝生长和分生孢子萌发的抑制作用[J]. *农药学报*, 2016, 18(2): 263–267.
- [25] 陈杰, 李六英, 高敏, 等. 烟草赤星病室内防治药剂筛选及田间防治效果[J]. *中国烟草科学*, 2017, 38(1): 73–77.
- [26] 朱宇航, 黄思洋, 陈华保, 等. 烟草赤星病防治药剂的筛选[J]. *烟草科技*, 2019, 52(5): 14–19.
- [27] 姚锦爱, 黄鹏, 张杰, 等. 翡翠景天黑腐病菌山扁豆生棒孢生物学特性及室内药剂筛选[J]. *热带作物学报*, 2023, 44(4): 785–789.
- [28] 张婷, 王艳, 晋玲, 等. 当归根腐病主要病原菌生物学特性及室内毒力测定[J]. *微生物学杂志*, 2024, 44(2): 71–78.
- [29] GB/T 23222—2008, 烟草病虫害分级及调查方法[S].
- [30] 黎妍妍, 杨涛, 贾欣欣, 等. 湖北省烟草赤星病菌生物学特性研究[J]. *湖北农业科学*, 2018, 57(22): 27–31.
- [31] 施兆荣, 张广荣, 孙述俊, 等. 甘肃省甜瓜黑斑病菌(*Alternaria tenuissima*)的分离鉴定[J]. *园艺学报*, 2022, 49(2): 427–436.
- [32] 刘行风, 刘东, 陶磊, 等. 黑龙江省黄瓜链格孢叶斑病病原鉴定及生物学特性研究[J]. *中国蔬菜*, 2021(8): 80–86.
- [33] HOU Y P, MAO X W, WU L Y, et al. Impact of fluazinam on morphological and physiological characteristics of *Sclerotinia sclerotiorum*[J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2019, 155: 81–89.
- [34] MAO X W, LI J S, CHEN Y L, et al. Resistance risk assessment for fluazinam in *Sclerotinia sclerotiorum*[J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2018, 144: 27–35.
- [35] 马爱红, 张鹤, 郝建波, 等. 河北省桃中晚熟品种果

- 实主要病原菌鉴定及防治药剂筛选[J/OL]. 植物病理学, (2024-05-27).<https://doi.org/10.13926/j.cnki.apps.000913>.
- [36] 刘凤华, 马迪成, 张晓敏, 等. 植物病原真菌对甾醇脱甲基抑制剂类杀菌剂抗性分子机制研究进展[J]. 农药学报, 2022, 24(3): 452-464.
- [37] FERNANDEZ-ORTUNO D, TORÉS J A, VICENTE A D, et al. Mechanisms of resistance to QoI fungicides in phytopathogenic fungi[J]. International Microbiology, 2008, 11(1): 1-9.
- [38] 廖振军, 曾慧兰, 高灿, 等. 江西樱花褐斑病菌的鉴定及其对杀菌剂的敏感性[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2022, 48(4): 449-453.
- [39] 木扎帕尔·吐鲁洪, 乌汉夫, 侯雨, 等. 细绿萍黑腐病病原菌鉴定及其生物学特性和防治药剂筛选[J]. 草地学报, 2023, 31(12): 3651-3660.
- [40] 郭沫言, 熊晶, 汪汉成, 等. 菌核净对烟草靶斑病菌的抑制作用及对烟叶叶际微生物群落结构的影响[J]. 农药学报, 2023, 25(4): 858-869.
- [41] 吴小美, 王海霞, 云英子, 等. 植物病原真菌对杀菌剂抗性的研究进展[J]. 植物保护, 2023, 49(5): 243-259.
- [42] AVENOT H F, MICHAILEDIS T J. Progress in understanding molecular mechanisms and evolution of resistance to succinate dehydrogenase inhibiting(SDHI) fungicides in phytopathogenic fungi[J]. Crop Protection, 2010, 29(7): 643-651.
- [43] AVENOT H F, SELLAM A, KARAOGLANIDIS G, et al. Characterization of mutations in the iron-sulphur subunit of succinate dehydrogenase correlating with boscalid resistance in *Alternaria alternata* from California pistachio[J]. Phytopathology, 2008, 98(6): 736-42.
- [44] 胡伟群. 病原真菌对琥珀酸脱氢酶抑制剂抗性研究进展[J]. 世界农药, 2020, 42(12): 1-5.
- [45] VELOUKAS T, MARKOGLOU A N, KARAOGLANIDIS G S. Differential effect of *SdhB* gene mutations on the sensitivity to SDHI fungicides in *Botrytis cinerea*[J]. Plant disease, 2013, 97(1): 118-122.
- [46] 路粉, 孟润杰, 吴杰, 等. 马铃薯晚疫病病菌对霜脲氰抗性动态监测及药效验证[J]. 中国农业科学, 2022, 55(18): 3556-3564.
- [47] NAIM Y B, COHEN Y. Replacing mancozeb with alternative fungicides for the control of late blight in potato[J]. Journal of Fungi, 2023, 9(11): 1046.
- [48] OHTA N, KAKIKI K, MISATO T. Studies on the mode of action of polyoxin D[J]. Agricultural and Biological Chemistry, 2014, 34(8): 1224-1234.
- [49] MAMIEV M, KOROLEV N, ELAD Y. Resistance to polyoxin AL and other fungicides in *Botrytis cinerea* collected from sweet basil crops in Israel[J]. European Journal of Plant Pathology, 2013, 137(1): 79-91.
- [50] 彭世逞, 吴昊, 朱陈曾, 等. 几种药剂对烟草赤星病菌的抑制作用[J]. 西昌学院学报(自然科学版), 2015, 29(3): 1-3.

责任编辑: 毛友纯

英文编辑: 罗维