

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2025.12.008

万宇鹤, 郭松, 陈应娟. 甲基硫菌灵对茶炭疽菌的抑菌活性研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2025, 47(12): 80-87.

甲基硫菌灵对茶炭疽菌的抑菌活性研究

万宇鹤^{1,2}, 郭松¹, 陈应娟¹

1. 西南大学 食品科学学院, 重庆 400715; 2. 贵州省农业科学院 茶叶研究所, 贵阳 550009

摘要: 由炭疽菌属真菌引起的茶树云纹叶枯病是茶树上的常见病害, 长期影响着茶叶的产量和品质。采用生长速率法研究了甲基硫菌灵对两种常见茶炭疽菌(胶孢炭疽菌 *Colletotrichum gloeosporioides* 和山茶炭疽菌 *C. camelliae*) 的抑菌活性, 并通过显微镜检和生物活性成分检测初步揭示了甲基硫菌灵对两种炭疽菌种的作用机制。结果表明: 甲基硫菌灵对两种不同茶炭疽菌均具有较好的抑菌效果, 其抑菌中浓度(EC_{50})分别为 $0.349 \mu\text{g/mL}$ 和 $0.647 \mu\text{g/mL}$, 表明甲基硫菌灵对不同炭疽菌种的抑菌效果存在明显差异。通过对甲基硫菌灵处理后两种炭疽菌的菌丝和分生孢子生长形态的观察, 发现两种炭疽菌的菌丝数量均明显减少, 并伴有不规则膨大现象、分枝多且短, 分生孢子形态也出现了不同程度的畸形。通过相对电导率和丙二醛(MDA)含量检测分析, 发现两种炭疽菌的细胞膜结构均遭到破坏, 细胞膜透性增大, 对比发现 *C. gloeosporioides* 对甲基硫菌灵的敏感性明显高于 *C. camelliae*。综合表明甲基硫菌灵对两种茶炭疽菌均具有较好的抑菌效果, 对 *C. gloeosporioides* 的抑制效果更好。

关键词: 甲基硫菌灵; 茶树; 炭疽菌; 抑菌作用

中图分类号: S435.711

文献标识码: A

文章编号: 1673-9868(2025)12-0080-08

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Study on the Antifungal Activity of Thiophanate-Methyl on *Colletotrichum* Species Causing Tea Brown Blight Disease

WAN Yuhe^{1,2}, GUO Song¹, CHEN Yingjuan¹

1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Institute of Tea Research, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550009, China

Abstract: Tea brown blight disease, caused by *Colletotrichum* species, is a common disease of tea plants, and had impact on the yield and quality of tea for a long-time. The antifungal activity of thiophanate-methyl against two common *Colletotrichum* species (*C. gloeosporioides* and *C. camelliae*) was measured by the growth rate method, and the mechanism of thiophanate-methyl on *C. gloeosporioides* and *C. camelliae* were initially revealed by the microscopic examination and biologically active ingredients detection. The

收稿日期: 2024-09-30

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(32272764)。

作者简介: 万宇鹤, 硕士研究生, 主要从事茶树栽培与病虫害研究。

通信作者: 陈应娟, 教授。

results indicated that thiophanate-methyl had high inhibitory effect on both *C. gloeosporioides* and *C. camelliae*, and the EC_{50} of *C. gloeosporioides* and *C. camelliae* was 0.349 and 0.647 $\mu\text{g}/\text{mL}$, respectively, suggesting that there are significant differences in the antifungal effect of thiophanate-methyl on different *Colletotrichum* species. Microscopic observation of mycelial and conidial morphology after thiophanate-methyl treatment revealed that the number of mycelium of the two *Colletotrichum* species was significantly reduced, accompanied by irregular swelling, more and short branches, and the morphology of conidia showed varying degrees of deformity. The results of relative conductivity and malondialdehyde (MDA) content showed that the membrane structure of both *Colletotrichum* species was damaged and the permeability of cell membrane was increased. Comparative analysis revealed that the sensitivity of *C. gloeosporioides* to thiophanate-methyl was significantly higher than that of *C. camelliae*. In summary, thiophanate-methyl shows an effective antifungal effect on the two dominant *Colletotrichum* species, and the inhibitory effect of thiophanate-methyl on *C. gloeosporioides* was much better than that on *C. camelliae*.

Key words: thiophanate-methyl; *Camellia sinensis*; *Colletotrichum*; antifungal activity

云纹叶枯病(Brown Blight Disease)是由炭疽属真菌引起的一类极具破坏性的茶树叶部病害^[1-4]。病害初期茶树叶片常出现水渍状斑点,发病后期病斑逐渐扩大,严重时造成叶片大面积枯死脱落,影响茶树的正常生长发育,降低了茶叶的产量及品质。随着分子生物学的发展,以形态学特征为基础,结合多基因系统发育分析和致病性检测现已鉴定出至少 16 种茶树炭疽菌,其中 *C. gloeosporioides* 和 *C. camelliae* 被认为是茶树上主要的优势致病菌^[3-5],因此对这两种茶树主要炭疽菌种的研究对于茶树云纹叶枯病的防治具有重要意义。

苯并咪唑类杀菌剂作为广谱性杀菌剂,使用范围广,但该类杀菌剂的作用位点单一,长期连续使用易导致病原菌产生抗性。甲基硫菌灵又名甲基托布津,是一种内吸性强、高效低毒、安全广谱的苯并咪唑类杀菌剂,在粮食^[6]、果蔬^[7-8]、药材^[9]中都有广泛的应用,但相关的系统性研究报道较少。目前,茶树病害及其防治主要以化学农药防治为主,致使农药使用量过多,农药残留问题突出。甲基硫菌灵虽是茶树病害的常见防治药剂,但对茶树病害中不同炭疽菌种的应用效果及其差异性却一直缺乏系统的数据研究,使得该药剂在防治茶树云纹叶枯病时缺乏精准性。*C. gloeosporioides* 和 *C. camelliae* 是引起茶树云纹叶枯病的主要病原菌种,本文研究了甲基硫菌灵对两种主要优势炭疽菌种的抑菌活性,并通过菌落生长情况、生物学活性分析等初步明确了甲基硫菌灵对炭疽菌的抑菌作用机制,旨在为茶树云纹叶枯病的防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 病原菌来源

所用的菌株为 2016—2019 年在重庆各茶叶种植区采集的茶树感病样本,经过形态学特征、多基因遗传进化分析和致病性检测鉴定为胶孢炭疽菌(*C. gloeosporioides*)及山茶炭疽菌(*C. camelliae*)^[4-5]。甲基硫菌灵购买于芜湖贝达化工有限公司,纯度为 98%。

1.2 培养基制备

马铃薯去皮后清洗干净并切成小块,称取 200 g,放入锅中,加入 1 L 无菌蒸馏水,加热直至土豆松软。取洁净纱布 8 层进行过滤,弃置滤渣,用无菌蒸馏水将滤液补充至 1 L,重新倒入锅中,加入 20 g 琼脂粉(POB 培养液不加)及 20 g 葡萄糖,加热搅拌使其充分溶解,定量分装,高压灭菌锅内灭菌 20 min,备用。

母液配置:精准称取甲基硫菌灵粉末 500 mg 置于 100 mL 的烧杯中,加入适量的二甲基亚砜(DMSO)溶解,转移至 50 mL 容量瓶中,用 ddH₂O 将烧杯洗涤 2~3 次后,将容量瓶用 ddH₂O 定容到刻度线处,甲基硫菌灵母液浓度 10 mg/mL,过滤除菌后备用。

带药培养基制备: 将保存备用的灭菌 PDA, 用微波炉加热至完全融化, 冷却至 50 ℃ 左右, 取定量甲基硫菌灵母液加入 PDA 中, 使其分别配制成不同浓度的培养基。经预实验筛选设置 *C. gloeosporioides* 浓度梯度为 0.1、0.3、0.5、1.0、2.0 μg/mL; *C. camelliae* 浓度梯度为 0.2、0.4、0.8、1.6、2.0 μg/mL。

1.3 病原菌接种培养

将培养 5 d 的病原菌种用打孔器打成菌块 ($d=7$ mm) 后, 接种至带药培养基上, 放置于 (25 ± 2) ℃ 生化培养箱中培养, 从第 2 d 开始, 每天同一时间用十字交叉法测量菌落直径, 待第 5 d 时用数码相机拍摄记录菌落大小, 并利用显微镜观察菌丝在不同甲基硫菌灵浓度下的形态特征, 每次实验共设置 2 个平行, 重复 3 次。

1.4 抑菌率计算

采用 SPSS 20.0 软件计算抑菌率和 EC_{50} , Adobe Photoshop CS5 处理菌丝和分生孢子图片。

菌丝生长抑菌率 ($R_{\text{抑菌}}$) 计算公式:

$$R_{\text{抑菌}} = \frac{D_{\text{对照}} - D_{\text{处理}}}{D_{\text{对照}} - D_{\text{菌饼}}} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $D_{\text{对照}}$ 为对照菌落直径; $D_{\text{处理}}$ 为处理菌落直径; $D_{\text{菌饼}}$ 为菌饼直径。

1.5 分生孢子与菌丝形态学观察

取灭菌后的 PDA 培养基, 配制 EC_{50} 浓度带药培养基, 对照组中加入等量无菌 ddH₂O。将培养 5 d 的菌种打成菌块后, 接种至事先配置好的带药培养基上, 放置于 (25 ± 2) ℃ 生化培养箱中培养 5~10 d, 将菌丝制片于 40 倍成像显微镜 (Olympus, U-TV0.5XC-3) 下观察菌丝以及孢子的生长情况。

1.6 相对电导率测定

使用 PDA 培养基培养菌种 5 d, 用打孔器将菌落打成菌块后, 取 4 个菌块接入 PDB 培养液中, 置于 150 r/min、 (25 ± 2) ℃ 的摇床上培养 5 d。使用电导仪测量培养液的电导率, 将培养液加热到沸腾, 冷却后再测量 1 次, 记录下前后电导率数据。

$$R_{\text{电导}} = \frac{R_{\text{原液}}}{R_{\text{煮沸后}}} \times 100\% \quad (2)$$

式中: $R_{\text{电导}}$ 为相对电导率, $R_{\text{原液}}$ 为培养原液电导率; $R_{\text{煮沸后}}$ 为煮沸后培养液电导率。

1.7 丙二醛 (MDA) 含量测定

参考 Shao 等^[10]的方法对待测菌进行培养, 使用硫代巴比妥酸法^[11]测定 MDA 含量。将培养 5 d 后的菌种打孔, 取菌饼接种于 PDB 培养液中, 将培养液置于 160 r/min、26 ℃ 的摇床上培养 2 d。在 PDB 培养基中加入甲基硫菌灵, 使其终浓度为 2 μg/mL, 空白组加入等量 DMSO。在培养 0、12、24 h 后取 0.5 mL 待测液, 加入 0.5 mL 硫代巴比妥酸 (0.67%), 混合热 30 min 后, 置于冷水中冷却, 在 6 687 r/min 下离心 10 min。用 5% 三氯乙酸溶液调零, 上清液在 450 nm、532 nm 和 600 nm 处测定吸光值。按公式计算丙二醛浓度 (C):

$$C = 6.45(A_{532} - A_{600}) - 0.56A_{450} \quad (3)$$

式中: A_{450} 、 A_{532} 、 A_{600} 分别代表 450 nm、532 nm、600 nm 波长下的吸光度值。进一步算出其在植物组织中的含量:

$$W = CV \quad (4)$$

式中: W 为丙二醛含量 ($\mu\text{mol/mL}^{-1}$); C 为丙二醛浓度; V 为丙二醛提取液体积。

2 结果与分析

2.1 甲基硫菌灵对 *C. gloeosporioides* 的抑菌活性分析

图 1 显示, 经不同浓度的甲基硫菌灵处理后, *C. gloeosporioides* 的菌落生长受到抑制, 且随甲基硫菌灵浓度的增加, 抑菌效果逐渐增强。当浓度为 0.5 μg/mL 时, 接种 5 d 后, 与对照相比, 甲基硫菌灵对

C. gloeosporioides 的抑菌效果明显, 菌落直径从 7.50 cm 减少至 3.005 cm, 抑菌率达到 66.10%, 之后随着药剂浓度的增大, 抑菌效果变化幅度变小; 当浓度达到 2.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时, *C. gloeosporioides* 菌落几乎不生长, 抑菌率达到 94.61%。整体来讲, 甲基硫菌灵处理后, *C. gloeosporioides* 菌落的形态及颜色变化不大, 菌丝灰白色, 分生孢子呈橙黄色, 但随着浓度增大, 达到 0.5 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时, 菌丝成簇生长, 分生孢子数量极大减少, 表明甲基硫菌灵对 *C. gloeosporioides* 的菌丝及分生孢子的生长起到了明显的抑制作用。

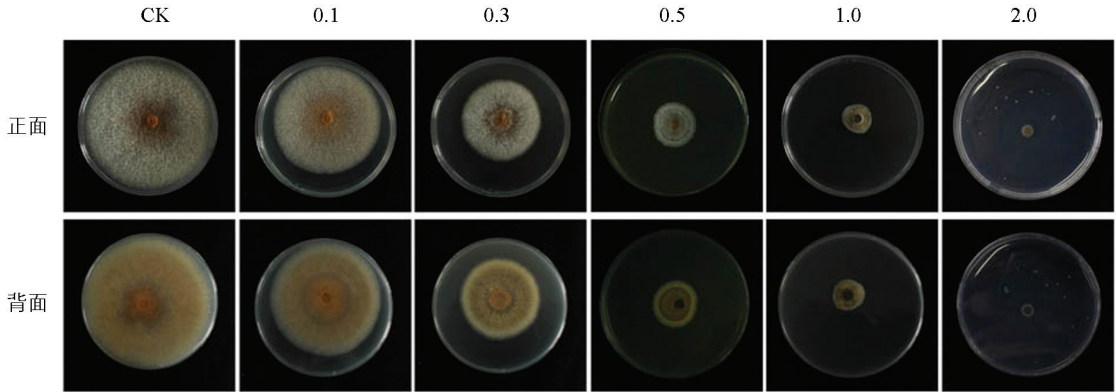


图 1 甲基硫菌灵($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)处理下 *C. gloeosporioides* 菌落的生长情况

2.2 甲基硫菌灵对 *C. camelliae* 的抑菌活性分析

图 2 显示, 甲基硫菌灵处理后, *C. camelliae* 菌落生长受到明显的抑制, 抑菌效果随着浓度的增加而明显增大。0.2 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时菌落直径为 6.30 cm, 抑菌率为 23.74%; 当浓度增加到 1.6 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时, 菌落直径减至 1.65 cm, 抑菌率达 86.99%。总体上来说, 0.2~0.8 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 浓度内抑菌率变化小, 1.6 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 与 2.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 两个浓度对菌种的抑制作用比较接近, 说明随药剂浓度的逐步增大, 病原菌的敏感性有所降低。*C. camelliae* 菌落颜色以及形态在甲基硫菌灵处理后无明显变化, 但随浓度的增加菌丝呈簇状生长, 分生孢子数量明显减少。

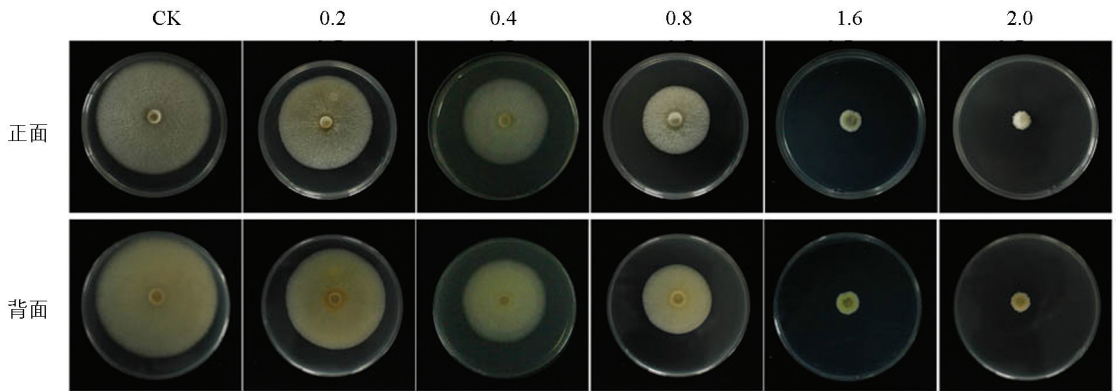


图 2 甲基硫菌灵($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)处理下 *C. camelliae* 菌落的生长情况

2.3 抑菌活性比较

甲基硫菌灵处理后, 两种炭疽菌 *C. gloeosporioides* (图 3a) 和 *C. camelliae* (图 3b) 的 EC_{50} 分别为 0.349、0.647 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 表明甲基硫菌灵对 *C. gloeosporioides* 抑菌活性更高, 在较低的浓度下能达到更好的抑制效果, 且随着药剂浓度的增加, 抑菌率逐渐增大。浓度为 1.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时, 甲基硫菌灵对 *C. gloeosporioides* 的抑菌率可达 84.56%, 2.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时可达 94.61%。相比之下, 甲基硫菌灵对 *C. camelliae* 的抑菌率在浓度 1.6 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时为 86.99%, 2.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时为 89.04%。综上所述, 在较低的浓度下, 甲基硫菌灵对 *C. gloeosporioides* 具有更好的防治效果。

2.4 甲基硫菌灵对炭疽菌菌丝生长的影响

图 4 显示, 正常生长下两种炭疽菌的菌丝整体形态均匀且较直, 甲基硫菌灵 (EC_{50}) 处理后, 两种

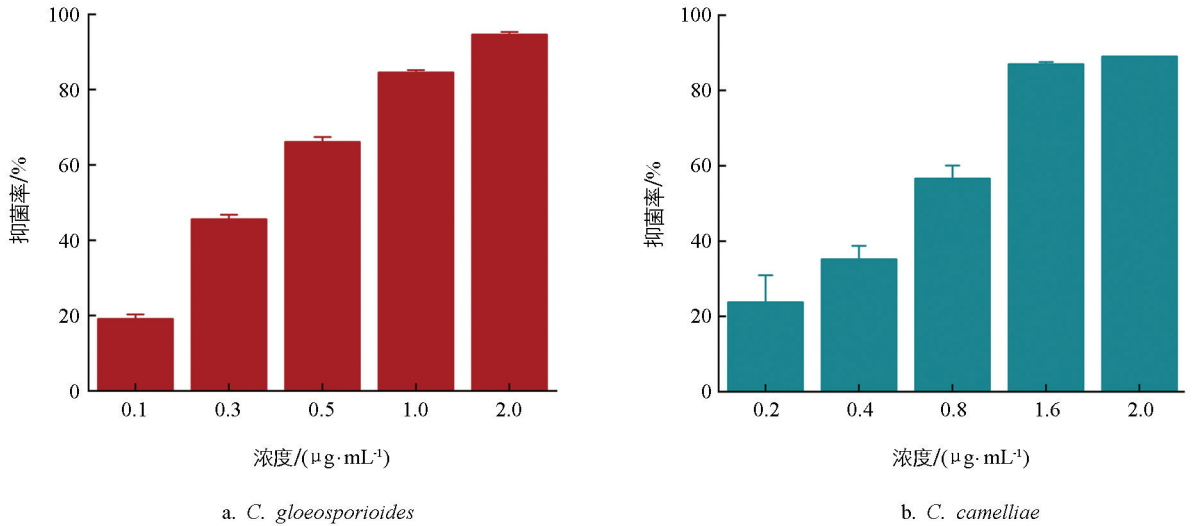


图 3 甲基硫菌灵处理后 *C. gloeosporioides* 与 *C. camelliae* 的抑菌效果

菌的菌丝形态均呈现出不同程度的局部增粗, 大部分菌丝的顶端产生不规则膨大, 菌丝整体生长也呈现畸形, 表明在甲基硫菌灵的作用下, 菌丝顶端分生组织的生长受到抑制, 使得菌丝的生长发育变得缓慢甚至停止。

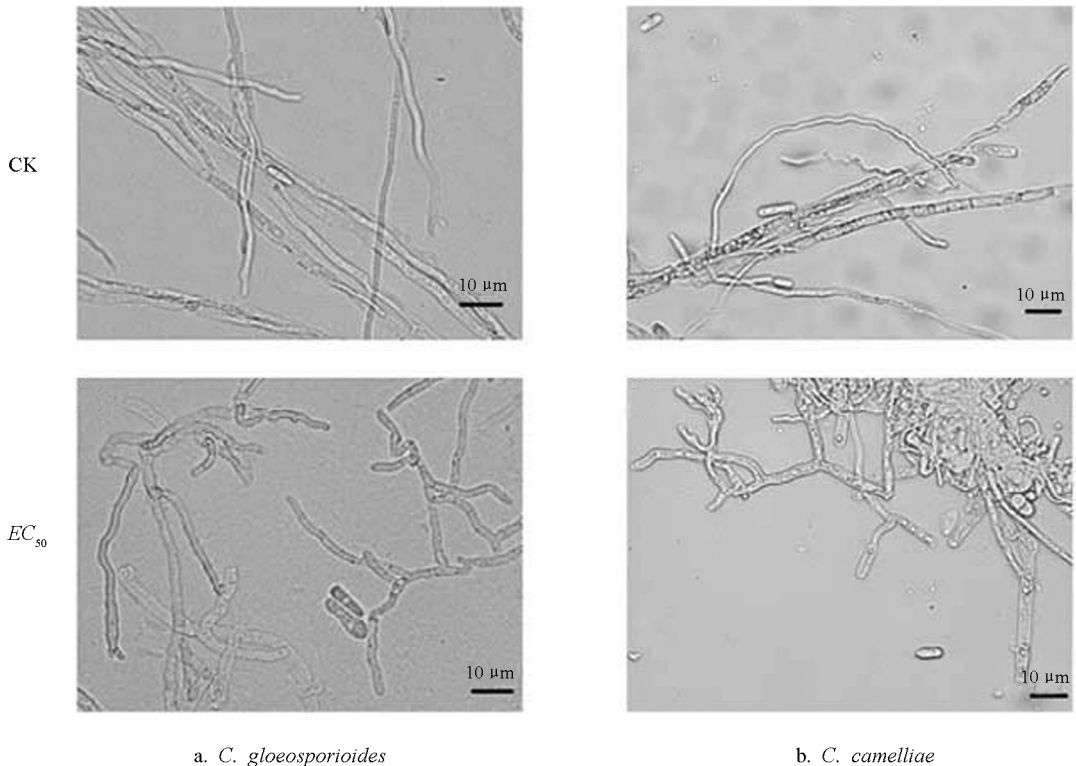


图 4 甲基硫菌灵处理后 *C. gloeosporioides* 与 *C. camelliae* 的菌丝生长情况

2.5 甲基硫菌灵对炭疽菌分生孢子的影响

图 5 显示, 正常生长的孢子生长发育良好, 形态呈较为规则的长椭圆形, 大小较为一致。*C. gloeosporioides* 的分生孢子呈长圆柱形, 孢子整体透明, 内部无隔膜, 两端钝圆, 大小为 $12.60\sim 18.50\ \mu\text{m}$ (长) \times $4.30\sim 7.50\ \mu\text{m}$ (宽); *C. camelliae* 的分生孢子呈圆柱状, 末端呈钝形或向底部狭窄, 整体透明, 内部无隔膜, 大小为 $11.7\sim 18.9\ \mu\text{m}$ (长) \times $4.1\sim 7.61\ \mu\text{m}$ (宽)。甲基硫菌灵(EC_{50})处理后, 分生孢子整体数量呈减少趋势, 部分分生孢子生长明显受到抑制, 在形态上表现为局部不规则膨大。

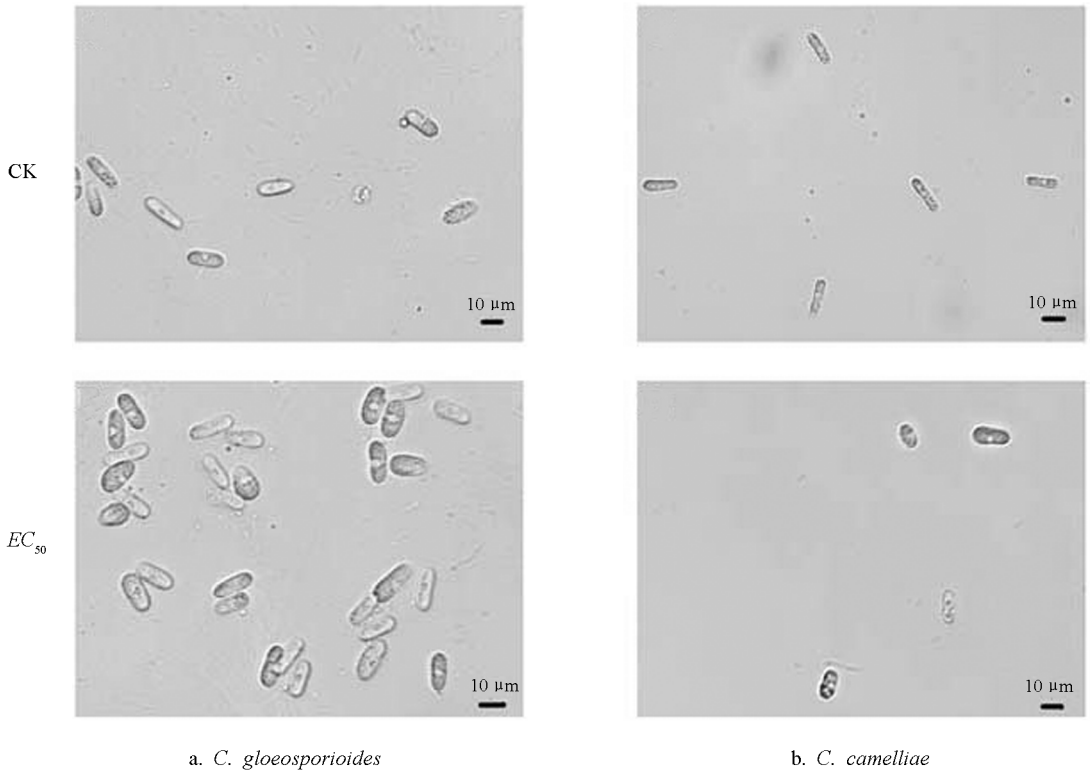


图 5 甲基硫菌灵处理后 *C. gloeosporioides* 与 *C. camelliae* 的分生孢子生长情况

2.6 甲基硫菌灵对炭疽菌细胞膜透性的影响

细胞膜透性以细胞相对电导率的大小表示^[12]。结果表明,两种炭疽菌在甲基硫菌灵的处理下,菌丝相对电导率随着甲基硫菌灵浓度的增加整体呈现上升趋势,相比之下,*C. gloeosporioides* 电导率相对稳定地升高(图 6a),*C. camelliae* 变化幅度波动较大(图 6b),表明在甲基硫菌灵作用下,2 种炭疽菌的细胞膜均被损伤,且随药剂浓度的增大损伤程度加剧。

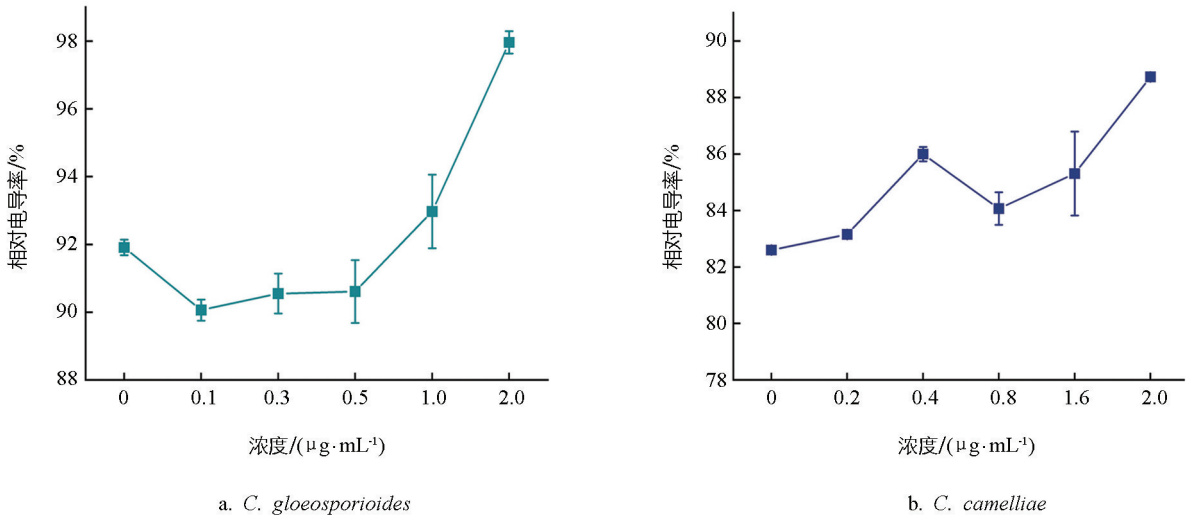


图 6 甲基硫菌灵处理后 *C. gloeosporioides* 与 *C. camelliae* 的相对电导率变化

2.7 甲基硫菌灵对炭疽菌丙二醛(MDA)的影响

丙二醛(MDA)是细胞在逆境胁迫下脂质过氧化作用的主要产物之一,由于 MDA 本身具有较强的毒性,可以在生物代谢中对细胞膜结构造成损伤,从而破坏细胞膜,影响细胞的功能^[13]。在甲基硫菌灵处理后 24 h 内,两种炭疽菌的 MDA 含量均在 12 h 内呈现出急剧上升、而后又急剧下降的趋势,而对照

组(CK)变化不大(图 7), 但 *C. gloeosporioides* 的上升幅度明显大于 *C. camelliae*, 说明甲基硫菌灵对 *C. gloeosporioides* 的组织过氧化损伤程度更大, 尤其是在 12 h 后。

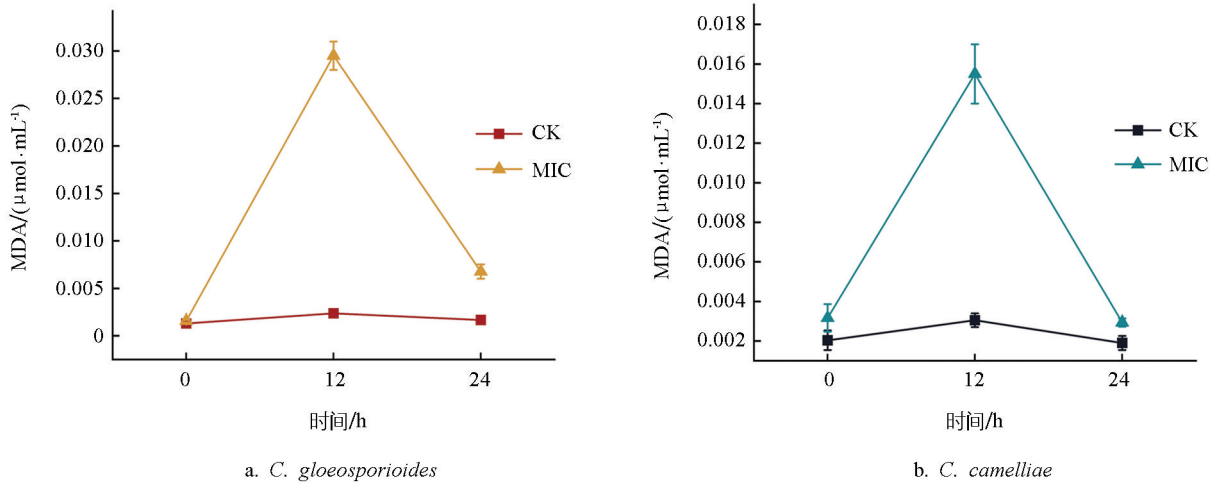


图 7 甲基硫菌灵(MIC)处理后 *C. gloeosporioides* (a)与 *C. camelliae* (b)的丙二醛(MDA)含量变化

3 讨论与结论

3.1 讨论

云纹叶枯病是茶树主要叶部病害之一, 长期以来病害防治难度大且容易反复感染。近年来由于分子鉴定技术的发展, 引起茶树云纹叶枯病的病原菌种类越来越多地被鉴定并报道, 且不同病原菌种的生物学特性等差异较大, 致使不同地区或同一地区不同菌种的病害防治效果差异较大。*C. gloeosporioides* 和 *C. camelliae* 被认为是引起茶树云纹叶枯病的两种主要病原菌种, 严重影响着茶叶的产量和品质^[3-5]。甲基硫菌灵是目前在多种农业经济作物中广泛应用的农药^[6-9], 在茶树病害防治中也一直被广泛应用, 但甲基硫菌灵对茶树病害的防治效果一直缺乏系统的数据研究, 尤其是对同一病原菌的不同菌种的作用效应还未见有系统报道。本研究结果证实了甲基硫菌灵对茶树主要优势炭疽菌种均具有较高的抑菌活性, 且对不同炭疽菌种的抑菌效果存在明显差异, 研究结果对茶树炭疽菌的高效、针对性防治具有重要的指导意义。

通过进一步显微镜检和生物活性检测发现, 甲基硫菌灵对不同炭疽菌种具有相似的抑菌机制, 均是通过抑制菌丝和分生孢子的生长, 造成茶炭疽菌的组织过氧化损伤加剧, 从而达到病害防治的效果。本研究证实了甲基硫菌灵对炭疽菌的两个优势菌种均具有较好的抑制效果, 但有研究报道认为甲基硫菌灵具有不稳定性, 会先转化为多菌灵^[14-16], 再通过植物叶片与根吸收进入植物体内, 进而干扰植物有丝分裂纺锤体的形成。甲基硫菌灵属于苯并咪唑类杀菌剂, 研究表明, 植物病原菌对苯并咪唑类药剂易产生抗药性, 而产生抗药性的主要原因是病原菌 β -微管蛋白基因的 198 或 200 位的氨基酸发生突变^[17-20], 同时苯并咪唑类药剂之间易产生交互抗性^[21-22], 进而限制了同类杀菌剂的复配使用。目前, 多菌灵在茶树上的农药残留问题已相对突出, 且随着病原菌抗药性的增强, 导致防治效果下降, 因此, 进一步开展甲基硫菌灵对茶树生长发育以及农药残留等方面的研究, 将对甲基硫菌灵在茶树上的高效、安全应用起到指导作用。

3.2 结论

本研究以两种茶树优势炭疽菌种 *C. gloeosporioides* 和 *C. camelliae* 为研究对象, 证实了甲基硫菌灵对两种不同茶炭疽菌均具有较好的抑菌活性, 但对不同炭疽菌种的抑菌效果存在明显差异。通过对处理后的菌丝和分生孢子的生长形态进行显微镜检, 发现甲基硫菌灵处理后两种炭疽菌的菌丝数量均明显减少, 且伴有不规则膨大现象, 分枝多且短, 分生孢子形态也出现了不同程度的畸形; 相对电导率和 MDA 含量检测分析表明, 甲基硫菌灵作用下两种炭疽菌的细胞膜结构均遭到不同程度的破坏, 细胞膜的透性增大, 但 *C. gloeosporioides* 对甲基硫菌灵的敏感性明显高于 *C. camelliae*。研究结果为茶树炭疽菌的高效、针对性防治提供了数据参考。

参考文献:

- [1] 刘霞, 江健, 詹金碧, 等. 湄潭县危害茶树的主要病虫害调查 [J]. 贵州农业科学, 2011, 39(9): 77-80.
- [2] 何忠全, 陈德西, 毛建辉, 等. 四川茶树病虫害种类调查及重大害虫(螨)田间种群数量消长动态研究 [J]. 西南农业学报, 2015, 28(6): 2546-2551.
- [3] WANG Y C, HAO X Y, WANG L, et al. Diverse *Colletotrichum* Species Cause Anthracnose of Tea Plants (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) in China [J]. Scientific Reports, 2016(6): 35287.
- [4] CHEN Y J, QIAO W J, ZENG L, et al. Characterization, Pathogenicity, and Phylogenetic Analyses of *Colletotrichum* Species Associated with Brown Blight Disease on *Camellia sinensis* in China [J]. Plant Disease, 2017, 101(6): 1022-1028.
- [5] WAN Y H, ZOU L J, ZENG L, et al. A New *Colletotrichum* Species Associated with Brown Blight Disease on *Camellia sinensis* [J]. Plant Disease, 2021, 105(5): 1474-1481.
- [6] 周忠雄, 周忠泉, 刘美玲, 等. 35%甲基硫菌灵·氟环唑悬浮剂对小麦三种病害控制试验 [J]. 湖北植保, 2020(6): 33-35, 41.
- [7] 崔凯. 甲基硫菌灵及其代谢物多菌灵防控黄瓜枯萎病发生的根际微生物效应 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2021.
- [8] 肖璐, 李晓琴, 唐雪妹, 等. 啞菌酯与甲基硫菌灵在荔枝采收后贮藏保鲜中的应用及膳食暴露评估 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(10): 292-299.
- [9] 于丽, 周兴隆, 夏文莉, 等. 70%甲基硫菌灵可湿性粉剂防治枸杞白粉病田间药效试验 [J]. 农药科学与管理, 2020, 41(7): 42-46.
- [10] SHAO X, CHENG S, WANG H, et al. The Possible Mechanism of Antifungal Action of Tea Tree Oil on *Botrytis Cinerea* [J]. Journal of Applied Microbiology, 2013, 114(6): 1642-1649.
- [11] 张清航, 张永涛. 植物体内丙二醛(MDA)含量对干旱的响应 [J]. 林业勘查设计, 2019, 48(1): 110-112.
- [12] 白宝章, 汤学军. 植物生理学测试技术 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993.
- [13] TIRKEY N, PILKHWAL S, KUHAD A, et al. Hesperidin, a Citrus Bioflavonoid, Decreases the Oxidative Stress Produced by Carbon Tetrachloride in Rat Liver and Kidney [J]. BMC Pharmacology, 2005, 5(1): 1-8.
- [14] 张志勇, 单炜力, 简秋, 等. 甲基硫菌灵及其代谢物在不同种植模式黄瓜和土壤中的残留 [J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(6): 1077-1081.
- [15] 刘淑娟, 陈秀蓉, 袁宏波, 等. 芽孢杆菌(*Bacillus* spp.)与甲基硫菌灵混配对茄腐镰孢菌(*Fusarium solani*)的抑制作用 [J]. 植物保护, 2008, 34(5): 149-152.
- [16] 樊锦艳, 房雅丽, 国立耘, 等. 美澳型核果褐腐病菌对甲基硫菌灵和啞酰菌胺的敏感性 [J]. 植物保护学报, 2009, 36(3): 251-256.
- [17] PERES NA R, SOUZA N L, PEEVER T L, et al. Benomyl Sensitivity of Isolates of *Colletotrichum Acutatum* and *C. Gloeosporioides* from Citrus [J]. Plant Disease, 2004, 88(2): 125-130.
- [18] ALBERTINI C, GRETT M, LEROUX P. Mutations of the B-Tubulin Gene Associated with Different Phenotypes of Benzimidazole Resistance in the Cereal Eyespot Fungi *Tapesia Yallundae* and *Tapesia Acuformis* [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 1999, 64(1): 17-31.
- [19] KOENRAADT H. Characterization of Mutations in the β -Tubulin Gene of Benomyl-Resistant Field Strains of *Venturia Inaequalis* and Other Plant Pathogenic Fungi [J]. Phytopathology, 1992, 82(11): 1348-1354.
- [20] LEE M H, PAN S M, NG T W, et al. Mutations of β -Tubulin Codon 198 or 200 Indicate Thiabendazole Resistance among Isolates of *Penicillium Digitatum* Collected from Citrus in Taiwan [J]. International Journal of Food Microbiology, 2011, 150(2-3): 157-163.
- [21] NEFF N F, THOMAS J H, GRISAFI P, et al. Isolation of the B-Tubulin Gene from Yeast and Demonstration of Its Essential Function in Vivo [J]. Cell, 1983, 33(1): 211-219.
- [22] SPALDING D H. Resistance of Mango Pathogens to Fungicides Used to Control Postharvest Diseases [J]. Plant Disease, 1982, 66(1): 1185.