

• 研究论文 •

几种季铵盐阳离子表面活性剂对核盘菌的抗菌活性

于 婷, 尚玉珂, 石怀兴, 慕 卫, 刘 峰*

(山东农业大学 植物保护学院, 山东 泰安 271018)

摘 要: 采用菌丝生长速率法测定了 5 种阳离子表面活性剂对从染病黄瓜植株上分离的核盘菌 *Sclerotinia sclerotiorum* 菌丝生长的毒力, 及其对菌丝形态、生物量、菌核形成及萌发和菌体细胞膜透性的影响。结果表明, 十二烷基苄基二甲基氯化铵抑制菌丝生长的毒力较高, EC_{50} 值为 $3.92 \mu\text{g/mL}$, 与杀菌剂乙霉威毒力相当; 经阳离子表面活性剂处理后, 菌丝粗壮且呈念珠状; 随药剂浓度的增大, 菌丝生长受抑制的程度增加, 菌丝生物量降低率可达 90% 以上; 在阳离子表面活性剂的作用下, 菌核的数量与空白对照相比有所减少, 但质量略有增加, 而腐霉利处理菌核数量无明显变化, 但质量明显减少; 5 种阳离子表面活性剂在 $10\,000 \mu\text{g/mL}$ 浓度下均不能完全抑制菌核萌发, 而对照药剂腐霉利和啞霉胺在 $200 \mu\text{g/mL}$ 即可完全抑制菌核萌发。

关键词: 阳离子表面活性剂; 核盘菌; 菌丝生长; 毒力; 菌核萌发; 细胞膜透性

中图分类号: S482.2 TQ423.121

文献标志码: A

文章编号: 1008-7303(2008)01-0099-06

Antifungal Activity of Cationic Surfactants Quarternary Ammonium Salt on *Sclerotinia sclerotiorum*

YU Ting SHANG Yu-ke SHI Hua-xing MU Wei LIU Feng*

(College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018 Shandong Province, China)

Abstract The inhibition activity on mycelium growth of 5 cationic surfactants and 3 fungicides against *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary were determined by mycelium growth rate method in lab. And their effects on the pathogen's mycelium shape, sclerotium formation, sclerotium germination, dry weight of mycelium and membrane osmotic potential were also studied. The results showed that dodecyl dimethyl benzyl ammonium chloride had the strongest inhibitory effect on mycelia growth, its EC_{50} value was $3.92 \mu\text{g/mL}$, which was similar with fungicide diethofencarb. After treated with cationic surfactants, the mycelia became stout and had moniliform appearance. As the concentration of the cationic surfactants increased, the inhibitory effect on the growth and the dry weight of mycelium became stronger, and the mycelium's dry weight reduced more than 90%. And the sclerotium numbers decreased compared with that of the control, however the weight increased slightly. In contrast, after treatment with procymidone, the sclerotium numbers had no visible change but the weight decreased greatly. The 5 cationic surfactants even at the concentration of $10\,000 \mu\text{g/mL}$ could not restrain the sclerotium germination completely, but the fungicides of procymidone and pyrimethanil could restrain it at the concentration of $200 \mu\text{g/mL}$.

Key words cationic surfactants; *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary; mycelium growth; bioactivity; sclerotium germination; membrane osmotic potential

收稿日期: 2007-10-22 修回日期: 2008-01-16

作者简介: 于婷 (1982-), 女, 山东潍坊人, 硕士研究生, * 通讯作者 (Author for correspondence): 刘峰 (1970-), 男, 山东沂水人, 博士, 副教授, 主要从事农药制剂学和农药毒理学研究。联系电话: 0538-8242611; E-mail: flit@sdau.edu.cn

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2006BAD08A03)

黄瓜菌核病由与油菜菌核病菌同属的 *Sclerotinia sclerotiorum* 引起^[1]。其致病菌核盘菌 *S. sclerotiorum* (L b) de Bary 先在寄主表面或内部生长白色菌丝体, 然后形成许多黑色、鼠粪状的菌核, 可在土壤中长期休眠, 当条件(温度、湿度)适宜时每个菌核能长出一个或多个有柄的子囊盘, 散发的子囊孢子由气流传播构成初侵染和再侵染, 造成茎腐、叶腐、花腐、果腐等症状^[2]。目前生产上尚缺乏抗病的黄瓜品种, 一旦发病, 用常规杀菌剂防治效果也不理想, 一般会减产 50% ~ 60%, 甚至绝收, 因此迫切需要开发新的药剂及防治手段。

季铵盐阳离子表面活性剂在我国主要用于工业杀菌、灭藻及卫生消毒^[3 4], 其防治对象主要为细菌, 而在防治植物病害方面的应用尚不多见。在国外, 此类表面活性剂主要用于农业操作器械、运输工具、工装的表面消毒, 以减少病菌扩散和传播, 如澳大利亚和南非使用“fam cleanse”(有效成分为季铵盐阳离子化合物)消毒器具有效降低了香蕉枯萎病的传播^[5 6]; 国内登记使用十二烷基苄基二甲基氯化铵防治果树叶部病害^[7], 陈召亮等报道了季铵盐阳离子表面活性剂对番茄灰霉病菌 *Botrytis cinerea* 的抗菌活性^[8]。由于阳离子表面活性剂对人畜毒性低, 环境相容性好, 因此有必要开展其防治植物病害的研究。笔者以常规杀菌剂腐霉利、啞霉胺等作对比, 测定了几种阳离子表面活性剂对核盘菌的抗菌活性及对菌体生物学特性的影响, 以便为评价该类药剂防治蔬菜病害的应用潜力提供依据。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

1.1.1 供试病原菌 核盘菌 *S. sclerotiorum* 自山东省泰安市郊区蔬菜日光温室发病植株上分离纯化, 在 4℃ 冰箱中保存。

1.1.2 药剂和仪器 45% 十二烷基苄基二甲基氯化铵(以下简称 1227)、45% 十四烷基二甲基苄基氯化铵(以下简称 1427)、46.5% 双十八烷基二甲基季铵盐(以下简称 C8-10)(均为山东省枣庄市中区泰和化工厂提供); 50% 31503、50% 31551(Gamini 季铵盐, 前者为双十二烷基双季铵盐, 后者为双十二烷基三季铵盐, 均为河南省道纯化工技术有限公司提供); 95% 啞霉胺(pyrimethanil)

原药(江苏常州市丰登农药厂); 95.5% 乙霉威(diethofencarb)原药(江苏苏化集团新沂农药厂); 95% 腐霉利(procymidone)原药(日本住友化学工业株式会社)。

DDS-11A 电导率仪, 上海雷磁仪器厂; SW-CJ-1D 型超净工作台, 苏净集团苏州安泰空气技术有限公司。

1.2 研究方法

1.2.1 供试药剂母液的配制 质量分数为 1% 的啞霉胺、乙霉威、腐霉利水悬浮剂母液(100 g)均按以下方法配制: 在原药(啞霉胺 1.05 g 乙霉威 1.05 g 腐霉利 1.02 g)中加入 1602# 2.00 g 农乳 500# 1.00 g 黄原胶 0.2 g 乙二醇 3 g 余量加去离子水, 湿法研磨 1 h 即得 1% 水悬浮剂母液, 然后将各母液稀释成所需浓度备用。1227、C8-10、1427、31551、31503 均为水溶性药剂, 直接用灭菌去离子水稀释备用。

1.2.2 药剂对菌丝生长的影响 采用菌丝生长速率法。在预备试验的基础上, 无菌条件下选择各药剂对病菌菌丝生长抑制率在 10% ~ 90% 范围内的 5 个系列浓度, 制成含药培养基。将菌饼菌丝面朝下接种到含药平板中央, 每处理设 3 次重复, 置于 (25 ± 1) °C 下培养 72 h, 用十字交叉法测量菌落直径, 计算抑制率。所得数据用 DPS 统计软件求出毒力回归方程及 EC₅₀ 值和 EC₉₀ 值^[8 9]。

1.2.3 药剂对菌丝形态的影响 在 1.2.2 节试验的基础上, 挑取经不同浓度药剂处理的菌丝制成玻片, 在显微镜下观察菌丝形态。

1.2.4 药剂对菌核形成及单重的影响 在 1.2.2 节试验的基础上观察各药剂对菌核形成的影响。同时选择各药剂的 EC₅₀ 和 EC₉₀ 浓度进行皿内抑制培养处理, 至各培养皿菌丝不再快速生长、产生黑褐色菌核为止, 记录菌核数量, 并称量菌核单重^[9]。

1.2.5 药剂对菌核萌发的影响 将黄瓜菌核病菌接种到马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)培养基上, 25℃ 培养 15 d 待菌核开始变褐时收集大小一致的菌核, 置于铺有灭菌滤纸的无菌培养皿中, 滴加少量的灭菌水保湿培养, 至菌核完全变褐成熟, 菌丝全部死亡。

在上述试验基础上, 根据药剂 EC₅₀ 值设计并配制各药剂系列浓度, 将菌核浸渍于药液中 30 s, 风干后置于 PDA 培养基平板上; 将未用药液处理

过的菌核置于含有上述系列浓度药剂的 PDA 平板上。25℃恒温培养, 统计比较两种处理的菌核萌发率, 测出抑制萌发的最低浓度。试验重复 3 次, 每重复测定 10 个菌核^[9]。

1.2.6 药剂对菌丝干重的影响 将供试药剂加入灭菌 PD 培养液 (马铃薯 200 g 葡萄糖 20 g 去离子水 1 000 mL) 中, 配成与 1.2.2 节系列浓度相

同的含药培养液。将直径为 8 mm 的菌饼接种到 100 mL 含药培养液中, 每瓶接种 6 块菌饼, 每处理重复 3 次, 以加等体积无菌水的培养液为对照。25℃、120 r/min 摇床培养 3 d 真空抽滤滤出菌丝, 用双蒸水冲洗 3 次, 去除菌饼, 将菌丝置于 80℃烘箱中烘干 2 h 称量菌丝干重, 计算药剂对菌丝干重的抑制率。

菌丝干重抑制率 (%) =

对照菌丝干重 (g) - 处理菌丝干重 (g)

对照菌丝干重 (g)

× 100

1.2.7 药剂对菌丝体细胞膜渗透势的影响 将供试菌置于 PDA 平板上, 25℃下培养 5 d 在菌落边缘制取直径为 4 mm 的菌饼分别接入 PD 培养液中, 120 r/min 振荡培养 2 d 后取菌丝备用。新鲜菌丝用重蒸水冲洗, 真空抽滤后称取菌丝鲜重 0.2 g 放入锥形瓶中, 分别加入用 25 mL 重蒸水稀释的系列浓度药液。25℃下恒温水浴中振荡 (120 r/min) 不同时间后, 用电导仪测定电导率。以菌丝加重蒸水为对照。同时测定各药剂分别在 0、2、5、5、10、15、60 min 时的电导率^[10]。

2 结果与分析

2.1 阳离子表面活性剂对菌丝生长的影响

六种阳离子表面活性剂和 3 种杀菌剂对核盘菌菌丝生长抑制作用的毒力测定结果 (表 1) 表明, 1227 抑制菌丝生长的毒力较高, 其 EC₅₀ 值为 3.92 μg/mL, 与对照药剂乙霉威的毒力 (EC₅₀ 值为 4.15 μg/mL) 相当, 其次是 C8-10 而 31551 的毒力最低。

表 1 阳离子表面活性剂对核盘菌菌丝生长的抑制作用

处理 Treatment	毒力回归方程 Toxicity regression equation	EC ₅₀ (95% CL) / (μg/mL)	EC ₉₀ (95% CL) / (μg/mL)
1227	Y = 4.096 + 1.532x	3.92 (2.54~5.43)	27.79 (19.10~48.30)
1427	Y = 2.497 + 2.169x	14.61 (11.31~18.18)	62.31 (45.44~101.57)
C8-10	Y = 2.853 + 2.227x	9.33 (7.52~11.49)	34.86 (25.71~54.96)
31503	Y = 1.707 + 2.586x	18.68 (15.65~22.27)	61.45 (47.29~89.50)
31551	Y = -1.506 + 2.784x	211.74 (179.62~252.30)	644.98 (496.25~940.51)
乙霉威 Dithofencarb	Y = 3.827 + 1.966x	4.15 (3.33~5.27)	19.60 (13.73~32.25)
腐霉利 Procymlone	Y = 6.137 + 1.749x	0.21 (0.15~0.27)	0.99 (0.76~1.39)
嘧霉胺 Pymethanil	Y = 5.300 + 1.907x	0.73 (0.55~0.86)	1.53 (1.37~1.75)

2.2 阳离子表面活性剂对菌丝形态的影响

核盘菌经 1227 处理后菌丝形态发生了明显变化。抑制率在 30% 以下时, 菌丝细长而且稀疏; 当抑制率达到 50% 时, 菌丝变得密集; 抑制率在 70% 以上时, 菌丝生长缓慢, 并且短而粗壮。当抑制率达到 90% 时, 菌丝顺菌饼向上生长, 不再在带毒培养基表面上扩展, 并在短时间内产生菌核。显微镜观察结果见图 1。清水对照菌丝较细, 并且较平直。在 1227 浓度为 2 μg/mL 时, 菌丝形态发生畸形, 菌丝开始增粗, 分枝增多并有膨胀现象; 随药剂浓度的增大, 菌丝生长受抑制的程度也逐渐增加, 在 40 μg/mL 浓度下, 菌丝节间明显变

短, 在隔膜处缢缩, 节中间膨大, 呈念珠状。

2.3 阳离子表面活性剂对菌丝体生物量的影响

选用毒力较高的前 5 种阳离子表面活性剂和对照药剂乙霉威进行试验, 结果见表 2。随药剂浓度的增大, 菌丝干重逐渐降低, 在相同浓度下, 对菌丝干重的抑制率比对菌丝生长的抑制率要稍大, 这表明在液体培养基中, 菌丝体与药剂的接触比在固体培养基中更充分, 使药剂的毒性得以更充分发挥。

2.4 阳离子表面活性剂对菌核形成及单重的影响

经药剂处理后, 当核盘菌的菌丝生长抑制率在 90% 以下时, 菌丝沿培养基生长, 直到不能继续

扩展时开始纠结成菌核;当抑制率在 90% 以上时,菌饼边缘刚长出菌丝即纠结成菌核。清水对照平均每培养皿生长 12 个菌核,菌核平均单重为 9.2 mg。经 EC₅₀浓度的表面活性剂处理后,菌核的数量有所减少,单重平均大于 10 mg。与清水对照相比略有增加;而对照药剂乙霉威、腐霉利和啮霉

胺处理的菌核数量无明显变化,平均单重明显减小(图 2)。经各药剂 EC₉₀浓度处理后,菌核数目有所减少,但菌核单重与 EC₅₀浓度处理的基本一致(图 3)。31551 由于效果较差,数据未列出,以下实验同。

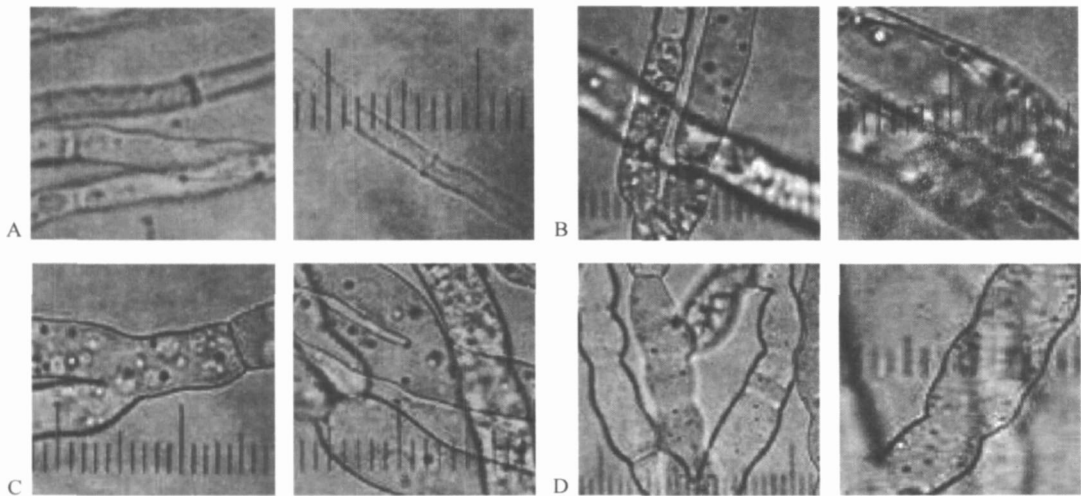


图 1 1227处理对菌丝形态的影响

Fig 1 Effect of dodecyl dim ethyl benzyl ammonium chloride on sclerotium mycelium shape of *S. sclerotium*
A, 对照 Control; B, 2 μg/mL; C, 10 μg/mL; D, 40 μg/mL

表 2 阳离子表面活性剂对菌丝体生物量的影响

Table 2 Effect of cationic surfactants on biomass of mycelium of *S. sclerotium*

处理 Treatment	5 μg/mL		10 μg/mL		20 μg/mL	
	单位菌丝干重 Dry weight of mycelium /mg	抑制率 Inhibition rate (±SD, %)	单位菌丝干重 Dry weight of mycelium /mg	抑制率 Inhibition rate (±SD, %)	单位菌丝干重 Dry weight of mycelium /mg	抑制率 Inhibition rate (±SD, %)
1227	58.33	57.07(±0.22)	40.57	70.15(±0.29)	12.12	91.09(±0.35)
1427	112.47	17.29(±0.11)	75.81	44.22(±0.13)	32.65	75.98(±0.19)
C8-10	100.15	26.34(±0.18)	53.15	60.89(±0.24)	14.44	89.38(±0.26)
31503	127.45	6.26(±0.09)	89.34	34.27(±0.18)	64.98	52.19(±0.17)
乙霉威 Diethofencarb	58.91	56.66(±0.17)	42.53	68.71(±0.21)	12.56	90.76(±0.28)
CK	135.95	—	135.95	—	135.95	—

2.5 阳离子表面活性剂对菌核萌发的影响

选用浸渍法和毒皿法处理。菌核在经各阳离子表面活性剂和对照杀菌剂 10 000 μg/mL 浸渍处理后,萌发率均在 100%。经毒皿法处理后(图 4),虽然随表面活性剂浓度的提高,萌发率有所降低,但仍无法全部抑制。而对照药剂腐霉利和啮霉胺在 200 μg/mL 即可完全抑制菌核萌发,乙霉威在 10 000 μg/mL 时才能完全抑制。

2.6 阳离子表面活性剂对菌丝体细胞膜透性的影响

选择毒力较高的 1227 和 C8-10 供试,对照药剂为腐霉利。结果(图 5)表明,随药剂浓度的增加,电导率逐渐升高。在前 10 min 内,电导率随着时间的延长而增加,且在前 5 min 内增加较为明显。这说明高浓度药剂对菌丝细胞膜产生的破坏作用强,并随着时间的延长,电解质不断渗出,在前 5 min 内电解质渗出速度最快。

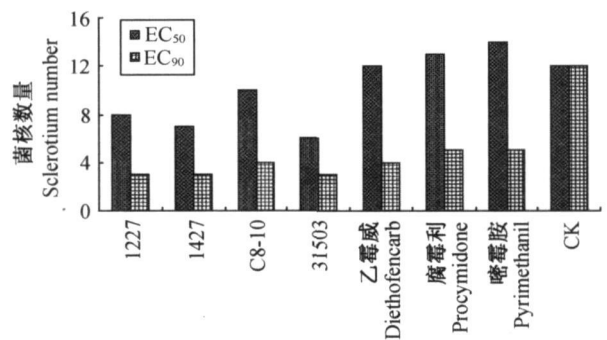


图 2 阳离子表面活性剂对菌核数量的影响
Fig. 2 Effect of cationic surfactants on sclerotium number of *S. sclerotiorum*

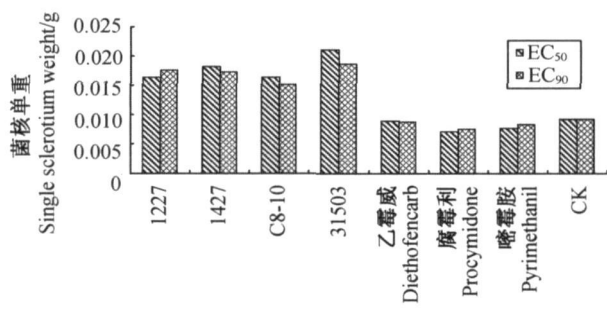


图 3 阳离子表面活性剂对菌核单重的影响
Fig. 3 Effect of cationic surfactants on single sclerotium weight of *S. sclerotiorum*

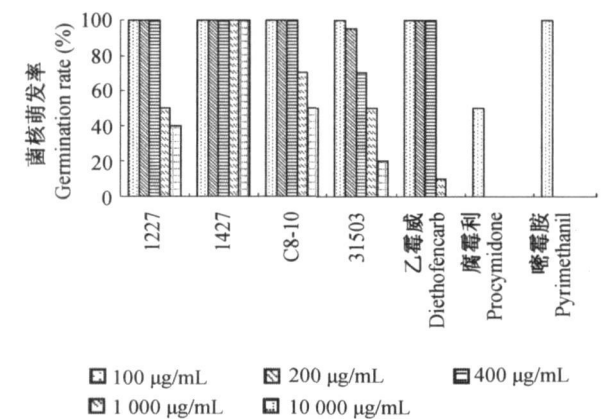


图 4 阳离子表面活性剂对菌核萌发的影响
Fig. 4 Effect of cationic surfactants on sclerotium germination of *S. sclerotiorum*

3 结论及讨论

核盘菌寄主范围广,可侵染黄瓜、番茄、莴苣、芹菜、油菜等多种蔬菜及大田作物。其所产生的菌核是在逆境条件下由菌丝纠结形成的团状休眠

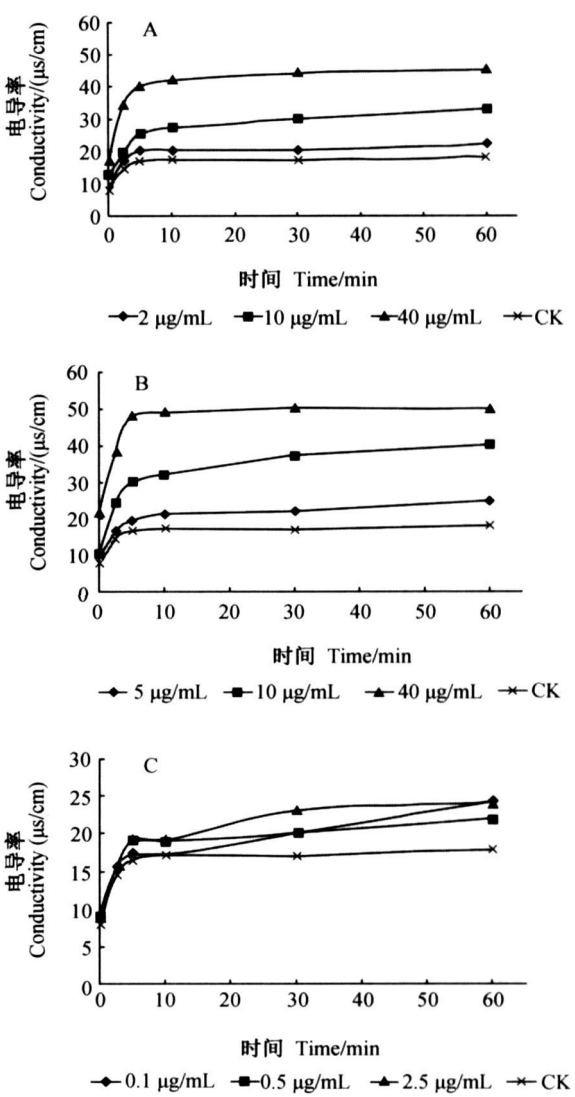


图 5 阳离子表面活性剂对核盘菌菌丝胞膜透性的影响
Fig. 5 Effect of cationic surfactants on membrane osmotic potential of *S. sclerotiorum*
Note: A, 1227; B, C8-10; C, 腐霉利 Procymidone

体,能够在土壤中越冬越夏且长期存活,具有较强的耐药性和抗逆性。由于上述原因,短期轮作及化学药剂土壤处理均难以获得理想的防治效果^[9]。多年来该类病害的防治药剂一直以苯并咪唑类杀菌剂多菌灵为主^[11, 12],其作用机理是与菌体的微管蛋白结合,影响与微管蛋白有关的代谢和功能,阻止菌丝的正常形成^[13, 14],由于其作用位点单一,加上长期连续单一使用,加速了病菌抗药性的产生,而且抗药性菌株分布范围逐年扩大,抗性比例上升,导致多菌灵田间防效下降。据报道,该菌对甲基硫菌灵、乙霉威、腐霉利等也存在较高

的抗性风险^[15]。

本研究表明,供试阳离子表面活性剂 1227对核盘菌具有显著的抑制活性,毒力与乙霉威相当;由于阳离子表面活性剂还能够显著降低水的表面张力,提高对植物叶面的润湿能力,因此将该类助剂添加到常规杀菌剂制剂中,有可能获得协同增效作用。综上分析,季铵盐类阳离子表面活性剂在防治植物真菌病害上具有一定的应用潜力。

目前相关的研究结果^[16-17]表明,季铵盐类阳离子表面活性剂对细菌主要是作用于菌体细胞膜。带正电荷的季铵离子在水中可以吸附于带负电的菌体表面,与膜蛋白结合并逐步渗入类脂层,改变细胞膜通透性,使细胞内容物外渗;穿透的季铵阳离子与膜内酶及蛋白结合,使其变性,从而抑制微生物的新陈代谢,将其杀死^[18]。但有关阳离子表面活性剂对植物病原真菌的作用机制还不完全清楚。

本研究表明,供试阳离子表面活性剂对真菌细胞膜也具有显著的破坏作用,处理后短时间内可导致菌体细胞膜透性增加。但是由于细菌细胞壁和膜组成及蛋白种类与真菌的存在较大差异,因此季铵盐类阳离子表面活性剂对两类微生物膜及代谢破坏作用的确切机制还有待进行深入的比较研究。此外,活性高的供试阳离子表面活性剂如 1227可导致核盘菌菌丝畸形增粗、使菌核数量减少但单重却增加,这与供试常规杀菌剂的表现恰恰相反。这些现象均表明阳离子表面活性剂的抑菌作用机理与常规杀菌剂也存在着显著的差异,是否可以作为两类药剂混用的理论基础也需要进一步验证。

参考文献:

- [1] ZHU Jian-lan(朱建兰). 黄瓜菌核病发病因素的研究 [J]. J Gansu Agric Univ (甘肃农业大学学报), 1992: 100.
- [2] XING Lai-jun(邢来君), LI Ming-chun(李明春). General Mycology(普通真菌学) [M]. Beijing(北京): Beijing Higher Education Press(北京高等教育出版社), 1999: 368-369.
- [3] GUO Xiang-feng(郭祥峰), JIA Peng-hua(贾朋华). Cationic Surfactant and Application(阳离子表面活性剂及应用) [M]. Beijing(北京): Beijing Chemical Industry Press(北京化学工业出版社), 2002: 148.
- [4] ZHANG Wen-fu(张文福). 表面活性剂在消毒领域的应用 [J]. Daily Chemical Industry(日用化学工业), 2004: 34(2): 108.
- [5] MOORE N Y, BENTLEY S, PEGG K G, et al. Fusarium Wilt of Banana in Australia [C] // MOLINA A B, MASDEK N H, N, LIEW K W. Banana Fusarium Wilt Management Towards Sustainable Cultivation. Proceedings of the International Workshop on Banana Fusarium Wilt Disease. Genting Highlands Resort Malaysia, 1999.
- [6] NEL B, STENBERG C, LABUSCHAGNE N, et al. Evaluation of Fungicides and Sterilants for Potential Application in the Management of Fusarium Wilt of Banana [J]. Crop Protection, 2007, 26(4): 697-705.
- [7] Institute for the Control of Agrochemicals Ministry of Agriculture, P. R. China(中华人民共和国农业部农业检定所). Electronic Pesticide Manual(农药电子手册) [DB/OL]. (2008-01-10). <http://www.chinapesticide.gov.cn> (中国农药信息网)
- [8] CHEN Zhao-liang(陈召亮), ZHU Bing-yu(朱炳煜), LIU Feng(刘峰), et al. 两种季铵盐阳离子表面活性剂对番茄灰霉病菌的生物活性 [J]. Acta Phytophylacica Sinica(植物保护学报), 2007, 34(5): 539-544.
- [9] PAN Jin-ju(潘金菊), LIU Feng(刘峰), MU Wei(慕卫), et al. 不同生育阶段黄瓜菌核病菌对几种三唑类杀菌剂的敏感性 [J]. Chin J Pestic Sci(农药学报), 2006, 8(2): 125-128.
- [10] SHIZHIQI(石志琦), ZHOU Ming-guo(周明国), YE Zhong-yin(叶钟音). 核盘菌对菌核净的抗性机制初探 [J]. Chin J Pestic Sci(农药学报), 2000, 2(2): 47-51.
- [11] FRAMING E, EDWARDS A, ANN D M. Fungicidal Control of Sclerotinia sclerotiorum on Cucumber [J]. Annals Appl Biol, 1984, 104: 56-57.
- [12] SHARMA R C, SHARMA S L. Evaluation and Economics of Fungicidal Spray against Sclerotinia Rot of Cauliflower Seed Crop [J]. Seed Research, 1984, 12(2): 95-97.
- [13] YARDEN O, KATAN T. Mutations Leading to Substitution at Amino Acids 198 and 200 of beta-Tubulin that Correlate with Botrytis-resistance Phenotypes of Field Strains of Botrytis cinerea [J]. Phytopathology, 1993, 83: 1478-1483.
- [14] LI Hong-xia(李红霞), LU Yue-jian(陆悦健), ZHOU Ming-guo(周明国), et al. 油菜菌核病菌 β -微管蛋白基因与多菌灵抗药性相关突变的研究 [J]. Chin J Oil Crop Sci(中国油料作物学报), 2003, 25(2): 56-60.
- [15] SHIZHIQI(石志琦), ZHOU Ming-guo(周明国), YE Zhong-yin(叶钟音), et al. 油菜菌核病菌对多菌灵的抗药性监测 [J]. Jiangsu J Agric Sci(江苏农业学报), 2000, 16(4): 226-229.
- [16] DEVINSKY F, LACKO I, BITTEREROVA E. Relationship between Structure Surface Activity and Micelle Formation of Some New Biquaternary Isosteres of 1, 5-Pentanediammonium Dibromides [J]. J Colloid Interface Sci, 1986, 114: 314-322.
- [17] PAVLKOVA M, LACKO I, DEVINSKY F, et al. Quantitative Relationships between Structure, Aggregation Properties and Antimicrobial Activity of Quaternary Ammonium Bolumphiles [J]. Collect Czech Chem Commun, 1995, 60: 1213-1227.
- [18] KANAZAWA A, KEDA T. Multifunctional Tetra-coordinate Phosphorus Species with High Self-organizing Ability [J]. Coordination Chemistry Review, 2000, 198: 117-131.

(Ed. TANG J)