

# 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

陈召亮 朱炳煜 刘峰 慕卫\*

(山东农业大学植物保护学院, 泰安 271018)

**摘要:** 为探讨季铵盐阳离子表面活性剂在番茄灰霉病防治中的应用潜力, 室内采用菌丝生长速率法测定了五种阳离子表面活性剂对番茄灰霉病菌 *Botrytis cinerea* 的毒力作用, 筛选出具有较高抑菌活性的 1227(十二烷基二甲苄基氯化铵)和 C8-10(双八、十烷基季铵盐), 并研究了其对该菌菌丝干重、分生孢子萌发、产孢量、菌核形成及细胞膜透性的影响。结果表明, 五种阳离子表面活性剂中 1227 和 C8-10 对病原菌菌丝生长有较强的抑制作用,  $EC_{50}$  值分别为 8.39 和 5.82  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 其毒力高于常规对照药剂腐霉利水悬浮剂, 与啞霉胺水悬浮剂、乙霉威水悬浮剂相当。两者对菌丝干重、孢子萌发均有较强的抑制作用, 20  $\mu\text{g}/\text{mL}$  时抑制率接近或达到 100%; 对菌核数、菌核形态及分布有一定影响; 40  $\mu\text{g}/\text{mL}$  C8-10 对该菌产孢量的抑制率可达 90% 以上; 1227 和 C8-10 的浓度大于 20  $\mu\text{g}/\text{mL}$  时均能明显影响病原菌细胞膜的通透性。

**关键词:** 季铵盐阳离子表面活性剂; 番茄灰霉病菌; 生物活性; 孢子萌发

## Antifungal activity of two quaternary ammonium cationic surfactants against *Botrytis cinerea*

Chen Zhaoliang Zhu Bingyu Liu Feng Mu Wei\*

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

**Abstract:** In order to study application potential for quaternary ammonium cationic surfactants on the control of tomato gray mould, the toxicity action of five cationic surfactants to *B. cinerea* was tested by the mycelium growth rate method *in vitro*. The effects of 1227 (dodecyl dimethyl benzyl ammonium chloride) and C8-10 (double-stranded quaternary ammonium salt) on mycelium dry weight, spore germination, conidia production, sclerotium formation and permeability of cell membrane were also studied. The results indicated that 1227 and C8-10 had obvious inhibition on mycelial growth of *B. cinerea*, and  $EC_{50}$  value were 8.39  $\mu\text{g}/\text{mL}$  and 5.82  $\mu\text{g}/\text{mL}$  respectively, which were higher than that of procymidone SC and equal to that of pyrimethanil SC and diethofencarb SC. The strong inhibition of 1227 and C8-10 on dry weight of mycelium and spore germination of *B. cinerea* were observed, and the inhibition rates could reach 100% at the concentration of 20  $\mu\text{g}/\text{mL}$ . The sclerotium formation, sclerotium form and distribution were influenced in different extent. C8-10 presented 90% inhibition rate on sporulation at the concentration of 40  $\mu\text{g}/\text{mL}$ . 1227 and C8-10 surfactants could obviously increase the permeability of cell membrane over the concentration of 20  $\mu\text{g}/\text{mL}$ .

基金项目: 国家“十一五”支撑计划 (2006BAD08A03)

作者简介: 陈召亮, 男, 1982 年生, 硕士研究生, 研究方向为农药毒理与应用技术, email: skyworthy@163.com

\* 通讯作者 (Author for correspondence), email: muwei@sdau.edu.cn, Tel: 0538-8242611

收稿日期: 2007-03-09

**Key words:** quaternary ammonium cationic surfactants; *Botrytis cinerea*; antifungal activity; spore germination

由灰葡萄孢菌 *B. cinerea* 引起的灰霉病是一种世界性重要病害,主要发生在保护地环境,可以引起果实和花器腐烂,影响产量和品质,对蔬菜和花卉生产构成极大威胁<sup>[1]</sup>。目前化学防治是灰霉病的重要防治措施,常用杀菌剂为苯并咪唑类及二甲酰亚胺类杀菌剂。但由于频繁用药,灰葡萄孢菌的抗性日益突出,据 Steel<sup>[2]</sup> 报道该菌已对多菌灵产生了较高的抗性。Wang 等<sup>[3]</sup> 已经发现了抗二甲酰亚胺类药剂的菌株,O'Neill 等<sup>[4]</sup> 在田间已经监测到了一定频率的抗扑海因的菌株。此外,由于施药带来的农产品和环境污染问题也成为人们关注的焦点。因此不断寻找防治该病的低毒、低残留、环境相容性好的新型杀菌剂显得尤为重要。

季铵盐阳离子表面活性剂具有对人畜低毒、低刺激、渗透力强、较易生物降解等特点,目前在杀菌领域主要用作工业杀菌灭藻剂及农用畜禽养殖场所消毒剂<sup>[5]</sup>,而其防治植物病害的报道较少,国外关于季铵盐阳离子表面活性剂在植物病害防治领域的应用主要集中在农业操作器械、运输工具、工作人员着装的表面消毒,以有效防止病原菌的扩散和传播,从而预防病害发生。澳大利亚果农采用“farm-cleanse”(有效成分为季铵盐阳离子化合物)对运输车辆、农业器械等进行表面消毒,在香蕉枯萎病的防治中取得了较好的效果<sup>[6]</sup>。南非的 Nel 等<sup>[7]</sup> 研究发现两种季铵盐阳离子化合物在较低浓度下对香蕉枯萎病菌孢子萌发即有较强的抑制作用且作用迅速,可以快速有效地杀灭粘附在操作器械、田间设备、工作人员鞋子表面的病原菌。国内仅有十二烷基苄基二甲基氯化铵在果树病害防治上进行了农用登记<sup>[8]</sup>。鉴于阳离子表面活性剂的不断更新,有必要评价其对植物病害的控制作用,以便减少常规化学农药对农产品和环境的污染。本研究比较了几种常见的季铵盐阳离子表面活性剂对灰霉病菌灰葡萄孢菌的毒力,测定了其供试菌部分生物学特性的影响,并就其作用机制进行了探讨,旨在为其开发应用提供一定的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 供试病原菌

灰葡萄孢菌 *B. cinerea* 采自泰安市郊区大棚番

茄灰霉病果上,25℃下恒温保湿培养1~2天,促使其产孢。用挑针挑取孢子在显微镜下鉴定确认后,移取孢子于PDA培养基上分离、纯化后在4℃冰箱内保存备用。

#### 1.1.2 供试药剂和主要仪器

45% 十二烷基二甲基苄基氯化铵(dodecyl dimethyl benzyl ammonium chloride,简称1227)、46.5% 双八、十烷基季铵盐(double-stranded quaternary ammonium salt,简称C8-10)、45% 十四烷基二甲基苄基氯化铵(tetradecane base dimethyl phenmethyl ammonium chloride,简称1427),山东枣庄泰和化工厂;50% 31551、50% 31503(均为由双链双烷基组成的季铵盐 gemini 阳离子表面活性剂),河南道纯化工技术有限公司;95% 嘧霉胺(pyrimethanil),江苏常州市丰登农药厂;95.5% 乙霉威(diethofencarb),江苏苏化集团新沂农化有限公司;98.5% 腐霉利(procymidone),陕西兵器化工研制厂;96% 异菌脲(iprodione),江苏快达农化股份有限公司。

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1%水悬浮剂的制备

异菌脲、嘧霉胺、乙霉威、腐霉利1%水悬浮剂母液(100g)均按以下方法制备。分别称取原药(嘧霉胺:1.05g,乙霉威:1.05g,腐霉利:1.02g,异菌脲:1.04g),加入1602#2.00g、农乳500#1.00g、黄原胶0.2g、乙二醇3g,余量加去离子水,湿法研磨1h即得1%水悬浮剂,经测定所得四种悬浮剂的平均粒径在5~7.5μm之间,悬浮率均在92%以上,符合农药悬浮剂的要求,以上药剂均现配现用。

1227、C8-10、1427、31551、31503均为水溶性物质,直接用去离子水稀释成所需浓度备用。

### 1.2.2 药剂对病原菌菌丝生长的抑制作用

采用菌丝生长速率法<sup>[9]</sup>。在预备试验的基础上,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(异菌脲:1、2.5、5、10、20μg/mL;1227、C8-10、嘧霉胺、乙霉威、腐霉利:2.5、5、10、20、40μg/mL;1427:10、20、40、80、160μg/mL;31551、31503:25、50、100、200、400μg/mL,以上浓度均为药剂在培养基中的浓度),用无菌水稀释,

按培养基与药液体积 9:1 的比例加入到已融化并冷却至 50 ℃ 左右的 PDA 培养基中,充分摇匀后迅速倒入灭菌的直径为 9 cm 的培养皿中,制成系列浓度的含药平板,以加入等体积无菌水的 PDA 平板为对照。用直径为 5 mm 的打孔器在 PDA 培养基上制取培养 4 天的病原菌菌饼,把菌饼菌丝面朝下接种到含药平板中央,每处理 3 次重复,置于 (25 ± 1) ℃ 下培养 96 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 EC<sub>50</sub> 值。培养 7 天时挑取对照及两药剂 40 μg/mL 处理靠近菌饼的菌丝,于显微镜下 400 倍观察菌丝生长形态,判断药剂处理对菌丝生长的影响。

### 1.2.3 药剂对病原菌菌丝生长量的影响

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,配成系列浓度与 1.2.2 相同的含药培养液,将 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 4 天,真空抽滤滤出菌丝,用灭菌水冲洗 3 次,去除菌饼,将菌丝置于 80 ℃ 烘箱中烘干 2 h 至恒重,称量菌丝重量,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

### 1.2.4 药剂对病原菌分生孢子萌发的抑制作用

采用悬滴法<sup>[10]</sup>。25 ℃ 室内培养获得大量 *B. cinerea* 的分生孢子,用无菌水制成孢子悬浮液。浓度为显微镜 400 倍下每视野中有 60 个左右的分生孢子,25 ℃ 下培养 24 h 后在显微镜下观察孢子萌发情况,计算药剂对分生孢子萌发的抑制率及校正抑制率。

孢子萌发抑制率(%) = (不萌发孢子数/检查孢子总数) × 100

校正抑制率(%) = [(处理孢子萌发抑制率 - 对照孢子萌发抑制率)/(1 - 对照孢子萌发抑制率)] × 100

### 1.2.5 药剂对病原菌产孢量、菌核数的影响

含药平板的浓度及制备方法同 1.2.2,将制备好的菌饼接种到含药平板上,25 ℃ 下培养 15 天,测定各处理的产孢量和菌核数。

### 1.2.6 药剂对病原菌细胞膜透性的影响

参照夏晓明等<sup>[11]</sup>的方法进行。将灰葡萄孢菌

于 PDA 平板上、25 ℃ 下培养 4 天后,制成 4 mm 的菌饼分别接入 PD 培养液中,120 r/min 振荡培养 4 天后取菌丝备用。新鲜菌丝用去离子水冲洗,真空抽滤后称取菌丝鲜重 0.5 g 放入锥形瓶中,分别加入由 25 mL 去离子水稀释的药液中(浓度分别为 0、2.5、5、10、20、40、80 μg/mL)。25 ℃ 下恒温水浴中 120 r/min 振荡培养不同时间后,用电导仪测定电导率。以菌丝加去离子水为对照。同时测定各药剂分别在 0、15、30、60、90、180 min 时的电导率,每处理重复 3 次。根据电导率的变化分析其对细胞膜透性的影响。

## 2 结果与分析

### 2.1 五种阳离子表面活性剂对病原菌菌丝生长的抑制作用

结果显示,五种阳离子表面活性剂对灰葡萄孢菌菌丝生长均有不同程度的抑制作用,1227 和 C8-10 对菌丝生长的抑制作用最强,EC<sub>50</sub> 值分别为 8.39 和 5.82 μg/mL。与防治该菌的常用杀菌剂相比,C8-10 对菌丝的抑制作用强于咪霉胺水悬浮剂、乙霉威水悬浮剂、腐霉利水悬浮剂;1227 对菌丝的抑制作用强于腐霉利水悬浮剂,与咪霉胺水悬浮剂、乙霉威水悬浮剂相当(表 1)。

图 1 为 400 倍下显微镜观察的菌丝图片。与对照菌丝相比(图 1-A),40 μg/mL C8-10 处理的菌丝明显变粗、节间变短、细胞内含物聚集成球状(图 1-B);1227 40 μg/mL 处理菌丝变粗、节间变短,但细胞内含物未出现聚集现象(图 1-C)。结果表明两者对病原菌菌丝生长形态有一定影响。

### 2.2 阳离子表面活性剂对病原菌菌丝生长量的影响

1227 和 C8-10 对供试菌菌丝生长量均有较强的抑制作用,C8-10 对菌丝干重的抑制作用高于 1227。含药 PD 培养液 1227 和 C8-10 浓度在 20 μg/mL 以上时菌丝干重抑制率均达 100%(表 2)。

### 2.3 阳离子表面活性剂对病原菌分生孢子萌发的抑制作用

结果显示,1227 和 C8-10 对灰霉病菌分生孢子萌发均有较强的抑制作用,且 C8-10 的抑制作用强于 1227。C8-10 在 10 μg/mL 时抑制率为 96.8%,两者在 20 μg/mL 处理时孢子萌发抑制率均为 100%(表 2)。

表 1 五种阳离子表面活性剂对灰葡萄孢菌菌丝生长的抑制作用  
Table 1 Inhibition on mycelium growth of *B. cinerea* by five cationic surfactants

处理 Treatment	毒力回归方程 Toxicity regression equation	相关系数 Relative coefficient	EC <sub>50</sub> ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ )
1227 Dodecyl dimethyl benzyl ammonium chloride	$Y = 3.4695 + 1.6572x$	0.9974	8.39
C8-10 Double-stranded quaternary ammonium salt	$Y = 3.7798 + 1.5957x$	0.9934	5.82
1427 Tetradecane base dimethyl phenmethyl ammonium chloride	$Y = 1.8728 + 1.8538x$	0.9940	48.63
31503 Quaternary ammonium Gemini cationic surfactant	$Y = -0.6638 + 2.7055x$	0.9956	124.00
31551 Quaternary ammonium Gemini cationic surfactant	$Y = -0.0735 + 2.1852x$	0.9637	209.78
1% 咪霉胺水悬浮剂 1% Pyrimethanil SC	$Y = 3.2963 + 1.8784x$	0.9961	8.07
1% 乙霉威水悬浮剂 1% Diethofencarb SC	$Y = 3.4266 + 1.8087x$	0.9992	7.41
1% 腐霉利水悬浮剂 1% Procyimdone SC	$Y = 3.2026 + 1.7666x$	0.9936	10.41
1% 异菌脉水悬浮剂 1% Iprodione SC	$Y = 4.2377 + 1.4235x$	0.9899	3.43

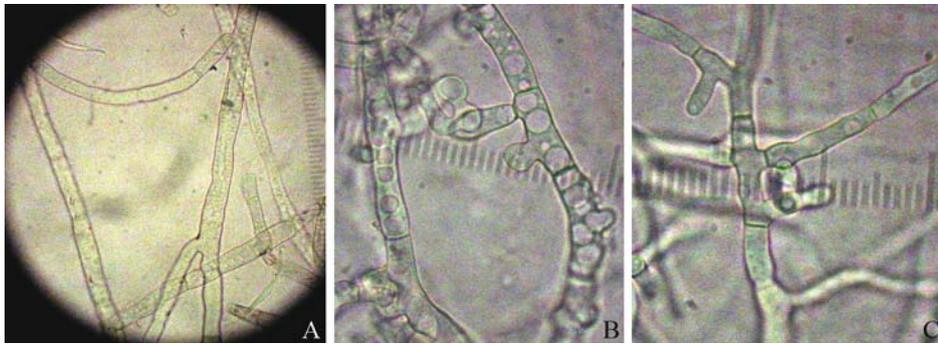


图 1 1227 和 C8-10 40  $\mu\text{g}/\text{mL}$  对番茄灰霉病菌菌丝生长形态的影响

Fig. 1 Change of mycelia morphology of *B. cinerea* treated with 1227 and C8-10

注: A 为对照处理的番茄灰霉病菌菌丝; B 和 C 分别为 C8-10 和 1227 处理的番茄灰霉病菌菌丝。Note: A indicate mycelia of *B. cinerea*; B and C indicate mycelia of *B. cinerea* treated with C8-10 and 1227, respectively.

表 2 C8-10 和 1227 对番茄灰霉病菌菌丝干重、分生孢子萌发、产孢量及菌核形成的影响

Table 2 Influence on mycelial dry weight, spore germination, conidial production, sclerotium formation of *B. cinerea* treated with 1227 and C8-10

处理 Treatment	浓度( $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) Concentration	菌丝干重抑制率(%) Inhibiting rate of mycelial dry weight	孢子萌发抑制率(%) Inhibiting rate of spore germination	产孢量抑制率(%) Inhibiting rate of conidial production	菌核形成抑制率(%) Inhibiting rate of sclerotium formation
1227	2.5	15.74 g	31.15 f	0.41 h	5.88 d
	5.0	44.59 e	60.76 d	2.06 g	2.94 e
	10.0	74.54 c	88.75 b	3.30 g	11.76 c
	20.0	100.00 a	100.00 a	29.67 e	32.35 b
	40.0	100.00 a	100.00 a	64.84 b	50.00 a
C8-10	2.5	26.32 f	48.28 e	20.05 f	7.35 d
	5.0	58.30 d	72.09 c	43.96 d	7.35 d
	10.0	93.05 b	96.80 a	56.04 c	13.24 c
	20.0	100.00 a	100.00 a	64.84 b	35.29 b
	40.0	100.00 a	100.00 a	95.60 a	45.59 a

注: 对照处理的菌丝干重、产孢量及菌核形成数量分别为 0.1626 g、 $7.28 \times 10^7$  个/mL 和 68 个/皿, 表中数据为 3 次重复的平均值, 数据后不同小写字母表示 5% 水平时差异显著。Note: Mycelial dry weight, conidial production, number of sclerotium formation was 0.1626 g,  $7.28 \times 10^7$  per milliliter and 68 per petri dish, respectively. The data are the average of three replicates. The different letters in the same line show the significant difference at 5% level.

## 2.4 阳离子表面活性剂对病原菌产孢量及菌核形成的影响

结果显示, C8-10 对灰霉病菌的产孢量有明显的抑制作用, 40  $\mu\text{g}/\text{mL}$  处理对产孢量的抑制率达 95% 以上, 1227 在 10  $\mu\text{g}/\text{mL}$  以下时基本不影响病原菌的产孢量, 在 40  $\mu\text{g}/\text{mL}$  时产孢量抑制率在 60% 左右, 与 C8-10 20  $\mu\text{g}/\text{mL}$  处理的抑制率相当(表 2)。1227 和 C8-10 对灰霉病菌的菌核形成有一定影响, 但不如对孢子萌发的影响明显, 40  $\mu\text{g}/\text{mL}$  处理的菌核形成抑制率在 50% 左右(表 2)。据观察, 对照病原菌的菌核较大、散生、分布均匀; 1227 和 C8-10 高浓度处理的菌核较小、易聚集且多集中于菌落中央。

## 2.5 阳离子表面活性剂对病原菌细胞膜透性的影响

经 1227 和 C8-10 不同浓度处理菌丝后, 在 15 min 之前电导率变化不明显, 在 15 ~ 30 min 之间电导率急剧上升, 至 90 min 时各处理电导率达到平衡, 之后电导率趋于稳定。对照菌丝电导率值较小, 且在 60 min 之后基本达到平衡。与空白对照去离子水中的电导率相比, 1227 和 C8-10 在 20  $\mu\text{g}/\text{mL}$  以上处理时, 15 min 以后的电导率出现明显差异, 且在同一时间内电导率值明显大于对照的电导率值(图 2), 说明 1227 和 C8-10 在 20  $\mu\text{g}/\text{mL}$  以上时能明显影响病原菌细胞膜的通透性, 使病原菌细胞在短时间内渗出较多的电解质。

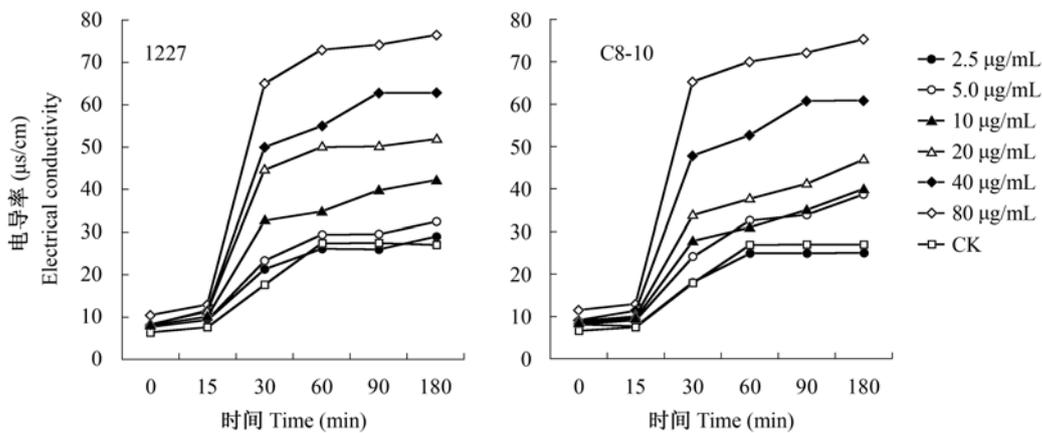


图 2 不同浓度 1227 和 C8-10 处理对灰葡萄孢菌菌液电导率的影响

Fig. 2 The effect on mycelia conductivity of *B. cinerea* by treatment with different concentration of 1227 and C8-10

## 3 讨论

本研究选用的五种季铵盐阳离子表面活性剂属于不同类型, 1227、1427 属于单链烷基季铵盐阳离子表面活性剂, C8-10 属于双链烷基季铵盐阳离子表面活性剂, 31551 和 31503 属于 Gemini 新型季铵盐阳离子表面活性剂, 它含有两个亲水基和两条疏水链。通常, 季铵盐阳离子表面活性剂的杀菌活性与其结构有着较大的关系, 疏水烷基的长度影响季铵盐的抗菌活性, 具有最佳链长的季铵盐有最大的抗菌活性<sup>[12]</sup>。本研究结果表明, 季铵盐阳离子表面活性剂对灰葡萄孢菌的毒力存在较大的差异, 双链的 C8-10 活性最高, Gemini 系列的 31551 和 31503 活性较低; 1227 活性高于 1427, 这与许多试验发现季铵盐阳离子表面活性剂的最大生物效应发生在中等链长的结果一致<sup>[13]</sup>。此外, 无论是液体培养还是固体培养, C8-10 高浓度处理的菌丝体与对

照相比均有变黑的现象, 表明对菌体色素的分泌存在影响, 而 1227 则没有这种现象。因此, 有必要对阳离子表面活性剂结构与对植物病原真菌活性相关性进行深入研究, 以期为此类助剂或杀菌药剂的开发提供依据。

分生孢子和菌丝体是灰葡萄孢菌传播和侵染的重要器官。本研究中 1227 和 C8-10 对 *B. cinerea* 具有较高的毒力, 它们对灰霉病菌的菌丝生长、孢子萌发均有强烈的抑制作用, 其中 C8-10 对灰霉病菌的活性略高于 1227, 并且 C8-10 可明显抑制灰霉病菌的产孢量。两种阳离子表面活性剂的毒力与防治灰霉病的常规杀菌剂咪唑胺水悬浮剂和乙霉威水悬浮剂相当, 略高于腐霉利水悬浮剂, 加之阳离子表面活性剂毒性低、良好的环境相容性和价格优势, 它们在保护地灰霉病的防治中可能有一定的应用价值, 其对该类病害的田间防效及对作物的安全性尚需进一步研究。

季铵盐阳离子表面活性剂的杀菌机制在于其分子在水中电离后活性部分带正电荷,可以吸附于带负电荷的细菌菌体表面,形成紧密排列的界面分子膜,阻碍了菌体的呼吸或切断了营养物质的来源,并逐步渗入细胞浆的类脂层,从而改变细胞膜通透性,使细胞内含物外渗,导致菌体死亡<sup>[14]</sup>。另外,短烷基链的阳离子表面活性剂化合物还可穿过菌体外表,进入菌体内部,与蛋白质的游离羟基和磺基发生离子交换,使蛋白质沉淀出来、酶和结构蛋白变性,从而抑制菌体的新陈代谢,最终致死<sup>[15]</sup>。目前该类表面活性剂对真菌的作用机制尚未见报道,由于真菌细胞壁构造以及生理生化机制与细菌存在较大差异,因此其作用机制也应该不同于细菌。本研究初步测定了两种表面活性剂对灰葡萄孢菌细胞膜通透性的影响,处理后菌丝体的电导率变化明显高于未用药的对照处理,表明胞内电解质大量渗出,可见其显著影响该菌细胞膜的通透性。其作用机制,还有待进一步研究。

#### 参考文献(References)

- 1 王树桐,胡同乐,张凤巧,等. 中药细辛提取物对番茄灰霉病菌的抑菌作用及防病效果研究. 河北农业大学学报,2006,29(1):59-62
- 2 Steel C C. Catalase activity and sensitivity to the fungicides iprodione and fludioxonil in *Botrytis cinerea*. Letters in Applied Microbiology, 1996,22(5):335-338
- 3 Wang Z N, Coley-Smith J R, Wareing P W. Dicarboximide resistance in *Botrytis cinerea* in protected lettuces. Plant Pathology, 1986,35(4):427-433
- 4 O'Neill T M, McPherson M. The search for basal rot control. The Grower, May 23, 1996:19-21
- 5 常青春. 季铵盐型阳离子表面活性剂的发展及应用. 佳木斯大学学报(自然科学版), 2003, 21(4):503-506
- 6 Moore N Y, Bentley S, Pegg K G, et al. *Fusarium* wilt of banana in Australia. // 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
- 7 Nel B, Steinberg C, Labuschagne N, et al. Evaluation of fungicides and sterilants for potential application in the management of *Fusarium* wilt of banana. Crop Protection, 2007, 26(4):697-705
- 8 刘大勋, 战宪志. 10% 杀菌优水剂防治果树病害效果调查. 北方果树, 2006(2):30-31
- 9 慕立义. 植物化学保护研究方法. 北京: 中国农业出版社, 1994:76-81
- 10 方中达. 植病研究方法. 3版. 北京: 中国农业出版社, 1998:152
- 11 夏晓明, 王开运, 范昆, 等. 抗戊唑醇禾谷丝核菌的渗透压敏感性及其相对渗透率变化研究. 农药学报, 2005, 7(2):126-130
- 12 Kanazawa A, Ikeda T. Multifunctional tetracoordinate phosphorus species with high self-organizing ability. Coordination Chemistry Reviews, 2000, 198:117
- 13 赵旭娜, 张高勇, 丁进亚, 等. 季铵盐类阳离子表面活性剂的生物效应. 中国消毒学杂志, 2006, 23(1):68-70
- 14 张长荣, 金聪玲. 阳离子活性杀菌剂的合成进展及其结构与杀菌力的关系. 陕西化工, 1997(3):1-7
- 15 薛文青, 薛广波. 季铵盐阳离子表面活性消毒剂研究进展. 中华医院感染学杂志, 2002, 12(8):634-636