

DOI: 10.16861/j.cnki.zggc.202423.0454

19种杀菌剂对甜瓜细菌性果斑病菌的杀菌活性评价

张媛媛^{1,2}, 付欣^{1,2}, 冯岗², 金永玲¹, 张静²

(1. 黑龙江八一农垦大学农学院 黑龙江大庆 163316; 2. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所 海口 571101)

摘要: 瓜类细菌性果斑病是由西瓜噬酸菌引起的一种种传病害, 在生产上的危害极为严重, 可造成大面积的减产甚至绝产, 但目前在生产中还缺乏有效的防治药剂。为筛选出高效防治细菌性果斑病的杀菌剂, 在室内筛选了19种杀菌剂的离体活性成分, 并对高活性杀菌剂进行毒力评价和活体盆栽验证。室内研究表明, 0.3%四霉素水剂等8种杀菌剂离体杀菌活性显著, 毒力强度依次为0.3%四霉素水剂>1%申喹霉素悬浮剂>5%噻霉酮悬浮剂>20%辛菌胺醋酸盐水剂>20%丙硫唑悬浮剂>4%春雷霉素水剂>0.4%蛇床子素水剂>0.5%小檗碱水剂。活体盆栽试验结果表明, 0.5%小檗碱水剂、20%丙硫唑悬浮剂、4%春雷霉素水剂和5%噻霉酮悬浮剂这4种药剂对甜瓜细菌性果斑病有较好的防治效果, 其中0.5%小檗碱水剂对甜瓜细菌性果斑病的保护和治疗作用最强, 在供试质量浓度为100 mg·L⁻¹时的保护和防治防效分别为79.66%和73.24%。上述研究试验表明, 0.5%小檗碱水剂、20%丙硫唑悬浮剂、4%春雷霉素水剂和5%噻霉酮悬浮剂可作为田间防治甜瓜细菌性果斑病的有效候选药剂。

关键词: 甜瓜; 细菌性果斑病; 杀菌剂; 活性评价

中图分类号: S652

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2024)04-115-06

Evaluation of the antibacterial activity of 19 bactericides against bacterial fruit blotch

ZHANG Yuanyuan^{1,2}, FU Xin^{1,2}, FENG Gang², JIN Yongling¹, ZHANG Jing²

(1. College of Agriculture, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163316, Heilongjiang, China; 2. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agriculture Sciences, Haikou 571101, Hainan, China)

Abstract: Bacterial fruit blotch (*Acidovorax citrulli*) is a severe disease in melon, resulting in significant yield reductions and even complete crop failure. Despite its significant impact, effective chemical control strategies for this disease remain elusive. To address this issue, the author conducted an evaluation of 19 bactericides to identify highly efficient agents against *A. citrulli*. Both *in vitro* and *in vivo* antimicrobial activity of the bactericides were assessed. From the initial *in vitro* screening, eight fungicides showing higher sensitivity were for further investigation of their bactericidal toxicity. The results revealed the following ranking of toxicity strengths: 0.3% Tetracycline AS > 1% Shenqinmycin SC > 5% Benzothiazolinone SC > 20% Diocetyl diethylenetriamine AS > 20% Albendazole SC > 4% Kasugamycin AS > 0.4% Cnidium lactone AS > 0.5% Berberine AS. Subsequent greenhouse experiments confirmed the effectiveness of 0.5% Berberine AS, 20% Albendazole SC, 4% Kasugamycin AS, and 5% Benzothiazolinone SE in preventing and treating BFB in melon seedlings. Particularly, 0.5% Berberine AS exhibited the highest efficacy, with prevention and treatment rates of 79.66% and 73.24%, respectively, at a concentration of 100 mg·L⁻¹. The findings in this research suggest that 0.5% Berberine AS, 20% Albendazole SC, 4% Kasugamycin AS, and 5% Benzothiazolinone SC hold promise as potential effective agents for the field control of bacterial fruit blotch.

Key words: Melon; Bacterial fruit blotch; Bactericides; Evaluation

甜瓜细菌性果斑病(bacterial fruit blotch)是一种细菌性病害, 病原菌为西瓜噬酸菌(*Acidovorax citrulli*)^[1]。该病于1965年在美国首次报道, 我国于

20世纪90年代在田间发现该病害^[2]。细菌性果斑病的传播方式主要是依赖于种子带菌传播, 即使0.01%的种子带菌也能造成该病害的发生, 而附着

收稿日期: 2023-07-13; 修回日期: 2024-02-17

基金项目: 海南省重点研发计划项目(ZDYF2022XDNY213)

作者简介: 张媛媛, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为农药毒理学。E-mail: zyyquan888@163.com

通信作者: 张静, 女, 研究员, 研究方向为农药毒理学。E-mail: zhangjing99@catas.cn

金永玲, 女, 副教授, 研究方向为植物保护。E-mail: gygjyl08@163.com

在种子或土壤病残体上越冬的病原菌在第2年再次引起侵染,进而形成恶性循环^[3]。甜瓜细菌性果斑病菌侵染初期主要危害叶片,进而侵染整株瓜苗,严重时会造成果实腐烂,直接影响产量^[4]。细菌性果斑病在海南、新疆、河南等多个省份的甜瓜种植区危害越发严重^[5]。由于甜瓜细菌性果斑病发病快、传播迅速,一般田间发病率45%~55%,严重时可达100%^[6],仅海南省每年的损失就达5亿元^[7],因此,采取有效的防治方法控制该病害的大面积发生十分必要。

甜瓜细菌性果斑病的主要防治方法有物理防治、生物防治和化学防治3种。物理防治主要是针对种子采用干热处理的方式,不宜久放,长时间存放,种子发芽率易受影响^[8]。在生物防治中,主要开展了拮抗菌的筛选和初步的应用研究^[9-11]。目前生产上甜瓜细菌性果斑病以化学防治为主,其中抗生素和铜制剂是常用的防治药剂,但近年来由于农用链霉素的禁用,铜制剂过量使用易造成环境污染、植物药害等问题^[12],细菌性病害的防治出现了药剂短缺的窘迫现象。根据中国农药信息网的农药登记信息,目前在西瓜和甜瓜上登记的杀菌剂产品有428个,主要为用于防治炭疽病、霜霉病、白粉病和疫病等病害的杀真菌剂,杀细菌剂产品仅有10个,其防治对象为由丁香假单胞杆菌引起的细菌性角斑病,有效成分主要包括溴硝醇、春雷霉素、溴菌腈·硫酸铜钙、噻森铜等,无针对细菌性果斑病的登记药剂。因此,急需筛选用于细菌性果斑病的高效杀菌剂。

目前,应用杀菌剂防治西瓜、甜瓜细菌性果斑病的研究较少,多为初步筛选^[13-15],缺乏系统的药剂筛选和活性评价,哪些杀菌剂能够更有效地防治细菌性果斑病尚未可知。因此,笔者拟选取19种杀菌剂,包括5种有机合成杀菌剂、4种抗生素、5种铜制剂和5种植物源杀菌剂,通过离体抑菌活性初筛、毒力测定、活体盆栽进行离体和活体的药效评价,比较其离体毒力强度和防治效果,以期筛选出细菌性果斑病的高效杀菌剂,为该病害的田间防治提供参考,为甜瓜细菌性果斑病杀菌剂的研发、登记提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试甜瓜品种 羊角蜜,购自中蔬种业科技(北京)有限公司。

1.1.2 供试病原菌 西瓜嗜酸菌(*Acidovorax citrulli*),由中国热带农业科学院环境与植物保护研究所农药研究组提供,于20%甘油中-80℃保存。

1.1.3 供试培养基 LB液体培养基:胰蛋白胨质量浓度10 g·L⁻¹、酵母提取物质量浓度5 g·L⁻¹、氯化钠质量浓度10 g·L⁻¹、水1 L,pH 7.2~7.4,加入15 g·L⁻¹琼脂即为LA固体培养基,于120℃灭菌锅灭菌处理30 min。

1.1.4 供试药剂 供试杀菌剂的名称及生产厂家见表1。

1.2 方法

1.2.1 离体抑菌活性测试 采用浊度法^[16-17],挑取单菌落于30 mL的LB液体培养基中,在28℃、180 r·min⁻¹振荡培养至对数生长期。将各供试药剂用无菌水稀释成1.0×10⁴ mg·L⁻¹的母液,吸取不同体积的母液于LB培养基中,将各供试药剂配制成5、20、100 mg·L⁻¹的含药培养基,吸取190 μL含药培养基置于96孔板中的微孔中,加入10 μL的菌悬液,每种药剂处理3次重复,以含药培养基但未加菌液的微孔为背景对照,未加药剂只加入菌液的LB培养基为对照。置于28℃、180 r·min⁻¹的摇床中,振荡培养24 h,用酶标仪检测,测定600 nm下的吸光值(OD₆₀₀)。抑菌率按以下公式进行计算:

$$\text{光吸收增加值 } \Delta OD = \text{药剂处理 } OD_{600} - \text{背景对照 } OD_{600}; \quad (1)$$

$$\text{抑菌率}/\% = (A_0 - A_1) / A_0 \times 100. \quad (2)$$

公式中, A_0 为对照OD值增加值, A_1 为药剂处理OD值增加值。

1.2.2 室内毒力测定 根据离体抑菌活性测试结果,将20%辛菌胺醋酸盐水剂、4%春雷霉素水剂、1%申嗪霉素悬浮剂、0.4%蛇床子素水剂、20%丙硫唑悬浮剂、5%噻霉酮悬浮剂、0.3%四霉素水剂以及0.5%小檗碱水剂等对细菌性果斑病敏感性较强的8种药剂配制成1.0×10⁴ mg·L⁻¹的母液,吸取母液将各药剂稀释成50、25、12.5、6.25、3.125、1.56、0.78 mg·L⁻¹的含药培养基,毒力测定方法同1.2.1,每个处理3次重复,于28℃、180 r·min⁻¹的摇床中,振荡培养24 h。

1.2.3 活体盆栽试验 活体杀菌活性测定采用室内盆栽法进行。试验甜瓜种子于75%的乙醇溶液浸泡2 min灭菌处理后,用无菌水冲洗3次,洗掉乙醇残留液,在50~55℃温水中浸泡并搅拌至水温降到30℃,再用清水浸种4 h,将湿润的纱布置于玻璃器皿中,把准备好的种子放置其中。在28℃恒温

表1 供试杀菌剂
Table 1 Fungicides for testing

种类 Type	杀菌剂及剂型 Fungicides and formulation	来源 Source	
有机合成杀菌剂 Organic synthetic fungicide	20%辛菌胺醋酸盐水剂 20% Xinjunan acetate aqueous solution	潍坊万胜生物农药有限公司 Weifang Wansheng Bio-Pesticide Co., Ltd.	
	20%丙硫唑悬浮剂 20% Albendazole suspension concentrate	贵州道元生物技术有限公司 Guizhou Daoyuan Biotechnology Co., Ltd	
	5%噻霉酮悬浮剂 5% Benziothiazolinone suspension concentrate	陕西西大华特科技实业有限公司 Shaanxi Xidahuate Technology Industry Co., Ltd	
	85%三氯异氰尿酸可溶性粉剂 85% Trichloroisocyanuric acid water soluble powder	天津博克百胜科技有限公司 Tianjin Boke Baisheng Technology Co., Ltd	
	20%噻唑锌悬浮剂 20% Zinc Thiozole suspension concentrate	浙江新农化工股份有限公司 Zhejiang Xinnong Chemical Co., Ltd	
	铜制剂 Copper fungicide	15%络氨铜水剂 15% Cuaminosulfate aqueous solution	东莞市瑞德丰生物科技有限公司 Dongguan Ruidefeng Biotechnology Co., Ltd
		20%松脂酸铜水乳剂 20% Copper abietate emulsion, oil-in water	青岛中达农业科技有限公司 Qingdao Zhongda Agricultural Technology Co., Ltd
30%壬菌铜微乳剂 30% Cuppric nonyl phenolsulfonate microemulsion		西安近代科技实业有限公司 Xi'an Modern Technology Industry Co., Ltd	
20%噻森铜悬浮剂 20% Thiosen copper suspension concentrate		浙江东风化工有限公司 Zhejiang Dongfeng Chemical Co., Ltd	
20%噻菌铜悬浮剂 20% Thiodiazole copper suspension concentrate		浙江龙湾化工有限公司 Zhejiang Longwan Chemical Co., Ltd	
抗生素 Antibiotic		1%申喹霉素悬浮剂 1% Shenqinmycin suspension concentrate	江苏好收成韦恩农化股份有限公司 Jiangsu Good Harvest Wayne Agrochemical Co., Ltd
		4%春雷霉素水剂 4% Kasugamycin aqueous solution	陕西麦克罗生物科技有限公司 Shaanxi Macro Biotechnology Co., Ltd
	3%中生菌素可湿性粉剂 3% Zhongshengmycin wettable powder	福建凯立生物制品有限公司 Fujian Kaili Bio-product Co., Ltd	
	0.3%四霉素水剂 0.3% Tetracycline aqueous solution	辽宁微科生物工程股份有限公司 Liaoning Weike Bioengineering Co., Ltd	
	植物源杀菌剂 Botanical fungicide	1%香芹酚水剂 1% Carvacrol aqueous solution	内蒙古清源保生物科技有限公司 Inner Mongolia Qingyuanbao Biotechnology Co., Ltd
		0.4%蛇床子素水剂 0.4% Cnidium lactone aqueous solution	杨凌馥稷生物科技有限公司 Yangling Fuji Biotechnology Co., Ltd
		0.5%小檗碱水剂 0.5% Berberine aqueous solution	杨凌馥稷生物科技有限公司 Yangling Fuji Biotechnology Co., Ltd
0.5%苦参碱水剂 0.5% Matrine aqueous solution		河南福瑞得生物科技有限公司 Henan Furuide Biotechnology Co., Ltd	
0.3%丁香酚水剂 0.3% Eugenol aqueous solution		河南省博爱惠丰生化农药有限公司 Henan Boai Huifeng Biochemical Pesticide Co., Ltd	

培养箱中催芽,发芽后种植于 8.5 cm×8.0 cm×6.5 cm 的育苗盘中,长出 2 片真叶时备用后续试验。试验设有保护和治理 2 种处理,处理方法如下:保护处理,将供试药剂均匀地喷在甜瓜叶片上,待叶片的药液蒸发后,使用灭菌处理的穿孔针在甜瓜的子叶上进行穿刺^[18],随后将配制好浓度的菌液对着甜瓜叶面进行喷雾,每株甜瓜接菌量为 2 mL;治疗方法,将配制好的菌悬液采用喷雾接种法接种,用塑料膜保湿 24 h 后再喷施药剂。2 种处理方法均在接菌 7 d 后进行病情观察。每种药剂设 50 和 100 mg·L⁻¹ 2 个质量浓度,每个处理 20 株,3 次重复,以只接菌处理为空白对照。病情级数参考

Hopkins^[19]的分级标准,略有改动。分级标准如下:0 级,未发病;1 级,病斑面积占总面积的 5% 以下;3 级,病斑面积占总面积的 5%~25% 以下;5 级,病斑面积占总面积的 25%~50 以下;7 级,病斑面积占总面积的 50%~75% 以下;9 级,病斑面积占总面积的 75% 及以上。

病情指数 = \sum (各级发病数 × 发病株数) / (总株数 × 最高级数值) × 100。 (3)

防治效果 / % = (空白对照病情指数 - 药剂处理病情指数) / 空白对照病情指数 × 100。 (4)

1.3 数据分析

所有试验数据使用 Excel 处理,计算 EC₅₀ 值及相

关参数,采用数据软件 DPS 进行病情指数、防治效果分析,选择 Duncan 氏新复极差法进行差异显著性比较。

2 结果与分析

2.1 19种杀菌剂对细菌性果斑病菌的离体杀菌活性筛选

结果表明(表2),在供试的19种杀菌剂中,以20%辛菌胺醋酸盐 AS、20%丙硫唑 SC、4%春雷霉素 AS、3%中生菌素 WP、1%申喹霉素 SC、5%噻霉酮 SC、0.3%四霉素 AS、0.4%蛇床子素 AS 和0.5%小檗碱 AS 等9种药剂对细菌性果斑病菌的离体杀菌活性最好,在供试质量浓度为100 mg·L⁻¹下抑菌率均在90%以上;20%松脂酸铜 EW、30%壬菌铜 ME、20%噻菌铜 SC、1%香芹酚 AS、0.5%苦参碱 AS、0.3%丁子香酚 AS 等6种药剂对甜瓜细菌性果斑病有一定的杀菌作用,在供试质量浓度为100 mg·L⁻¹下抑菌率均在70%以上;其余4种杀菌剂对细菌性果斑病的离体杀菌活性较差,没有明显的抑制作用。20%辛菌胺醋酸盐 AS 等9种高活性杀菌剂随着处理浓度下降,活性产生了较大的差

异,其中3%中生菌素 WP 的药剂浓度降低时,其离体杀菌活性也随之降低,在5 mg·L⁻¹的质量浓度下,抑菌率仅为3.64%。1%申喹霉素 SC 和0.3%四霉素 AS 的离体杀菌活性最高,在5 mg·L⁻¹的质量浓度下,对病原菌的抑菌率仍然大于80%。

2.2 丙硫唑等8种杀菌剂对甜瓜细菌性果斑病的毒力分析

根据2.1的试验结果,选择对细菌性果斑病敏感性较强的20%辛菌胺醋酸盐 AS 等8种药剂,进一步测试对细菌性果斑病菌的毒力,由表3可知,0.3%四霉素 AS 杀细菌剂毒力最强,其EC₅₀值低于1 mg·L⁻¹;1%申喹霉素 SC 和5%噻霉酮 SC 也有较高的毒力,其EC₅₀分别为1.39和1.96 mg·L⁻¹。供试的两种植物源杀菌剂0.4%蛇床子素 AS 和0.5%小檗碱 AS 的毒力较低,EC₅₀值分别为9.73和14.01 mg·L⁻¹。

2.3 盆栽试验

由表4可以看出,除0.4%蛇床子素 AS,其余7种杀菌剂处理均有一定的防治效果,病情指数随着药剂处理浓度的增加而降低。在保护性试验中,0.5%小檗碱 AS 防治效果最好,处理质量浓度

表2 19种杀菌剂对细菌性果斑病菌的抑制活性
Table 2 Inhibitory activity of 19 fungicides against bacterial fruit blotch fungus

杀菌剂 Fungicide	抑菌率 Inhibition rate%		
	100 mg·L ⁻¹	20 mg·L ⁻¹	5 mg·L ⁻¹
20%辛菌胺醋酸盐 AS 20% Xinjunan acetate AS	99.53±0.15 a	87.16±2.42 c	62.88±1.91 c
20%丙硫唑 SC 20% Albendazole suspension SC	99.36±0.28 a	87.35±1.25 c	19.27±0.83 g
5%噻霉酮 SC 5% Benziothiazolinone SC	99.20±0.76 a	99.35±1.25 a	11.96±4.21 h
85%三氯异氰尿酸 SP 85% Trichloroisocyanuric acid water SP	25.70±2.51 h	3.35±4.32 k	3.44±2.38 jk
20%噻唑锌 SC 20% Zinc ThiozoleSC	45.81±1.68 g	3.57±0.23 k	2.71±4.43 jk
15%络氨铜 AS 15% Cuaminosulfate AS	25.41±2.61 h	6.46±1.80 jk	7.00±3.67 ij
20%松脂酸铜 EW 20% Copper abietate EW	70.87±1.93 e	53.05±0.79 f	12.35±2.49 h
30%壬菌铜 ME 30% Cuppric nonyl phenolsulfonate ME	79.91±1.80 c	9.56±2.36 j	1.99±0.55 k
20%噻森铜 SC 20% Thiosen copper SC	58.07±0.24 f	6.89±1.58 jk	3.00±0.96 jk
20%噻菌铜 SC 20% Thiodiazole copper SC	74.45±3.77 de	8.85±0.92 j	2.49±1.36 k
1%申喹霉素 SC 1% Shenqinmycin SC	99.87±0.37 a	92.48±0.17 b	84.33±3.47 b
4%春雷霉素 AS 4% Kasugamycin AS	98.43±0.02 a	74.50±0.24 d	52.51±1.61 d
3%中生菌素 WP 3% Zhongshengmycin WP	95.88±2.99 ab	7.54±3.00 j	3.64±2.47 jk
0.3%四霉素 AS 0.3% Tetracycline AS	99.83±0.16 a	97.22±0.16 a	89.11±0.44 a
1%香芹酚 AS 1% Carvacrol AS	77.14±3.54 cd	25.35±0.94 h	23.79±1.35 f
0.4%蛇床子素 AS 0.4% Cnidium lactone AS	94.31±4.77 b	65.50±3.48 e	26.51±3.66 f
0.5%小檗碱 AS 0.5% Berberine AS	96.47±0.95 ab	65.21±0.53 e	47.53±1.07 e
0.5%苦参碱 AS 0.5% Matrine AS	75.41±1.35 d	44.49±3.50 g	25.09±0.63 f
0.3%丁子香酚 AS 0.3% Eugenol AS	77.03±2.02 cd	20.84±0.19 i	9.38±0.79 hi

注:AS. 水剂;SC. 悬浮剂;SP. 可溶性粉剂;EW. 水乳剂;ME. 微乳剂;WP. 可湿性粉剂。不同小写字母表示在0.05水平差异显著。下同。

Note: AS. Aqueous solution; SC. Suspension concentrate; SP. Soluble powder; EW. Oil-in water; ME. Microemulsion; WP. Wettable powder. Different lowercase letters in the same column indicate significant differences at the 0.05 level. The same below.

表3 8种杀菌剂对甜瓜细菌性果斑病菌的毒力

Table 3 Virulence of eight fungicides against bacterial fruit blotch fungus of melon

杀菌剂 Fungicide	回归方程 Virulence equation	相关系数 <i>r</i>	EC ₅₀ / (mg·L ⁻¹)	95%置信限 95% Confidence
20%辛菌胺醋酸盐 AS 20% Xinjunan acetate AS	$Y=6.287\ 5+1.517\ 0\ X$	0.946 0	3.08	1.32~7.19
4%春雷霉素 AS 4% Kasugamycin AS	$Y=3.453\ 4+1.722\ 1\ X$	0.963 5	7.91	5.12~12.22
1%申嗪霉素 SC 1% Shenqinmycin SC	$Y=4.771\ 7+1.608\ 9\ X$	0.960 0	1.39	0.14~14.07
0.4%蛇床子素 AS 0.4% Cnidium lactone AS	$Y=3.178\ 8+1.924\ 5\ X$	0.953 0	9.73	6.51~14.55
20%丙硫唑 SC 20% Albendazole Ssuspension SC	$Y=3.601\ 1+2.037\ 4\ X$	0.959 6	4.86	3.82~6.17
5%噻霉酮 SC 5% Benziothiazolinone SC	$Y=4.445\ 9+1.893\ 8\ X$	0.962 7	1.96	1.60~2.41
0.3%四霉素 AS 0.3% Tetracycline AS	$Y=5.596\ 6+1.086\ 9\ X$	0.952 0	0.28	0.15~0.54
0.5%小檗碱 AS 0.5% Berberine AS	$Y=2.853\ 8+1.871\ 9\ X$	0.954 6	14.01	8.69~22.59

表4 杀菌剂对盆栽甜瓜细菌性果斑病的防治效果

Table 4 Efficacy of fungicides for the control of bacterial fruit blotch of melon in pots

杀菌剂 Fungicide	质量浓度 Concentration/(mg·L ⁻¹)	保护作用 Protective action		治疗作用 Therapeutic action	
		病情指数 Disease index	防效 Efficacy/%	病情指数 Disease index	防效 Efficacy/%
20%辛菌胺醋酸盐 AS 20% Xinjunan acetate AS	50	48.15±4.49 de	35.66±5.23 hi	51.11±2.94 d	33.63±2.10 g
	100	32.22±1.67 i	57.51±2.82 d	33.70±3.39 h	55.68±2.80 c
20%丙硫唑 SC 20% Albendazole suspension SC	50	36.11±2.55 gh	51.77±1.59 ef	43.15±2.85 fg	44.01±0.54 de
	100	20.00±1.67 k	73.27±2.06 b	22.78±1.11 j	70.42±0.37 a
1%申嗪霉素 SC 1% Shenqinmycin SC	50	58.52±1.70 c	21.74±2.45 j	59.63±3.57 bc	22.60±1.02 hi
	100	44.44±3.85 f	40.64±3.69 g	45.56±3.33 ef	40.84±3.40 ef
0.4%蛇床子素 AS 0.4% Cnidium lactone AS	50	49.26±1.70 d	34.11±2.91 i	57.04±6.12 c	26.09±4.15 h
	100	62.22±1.92 b	16.81±1.83 k	62.22±1.92 b	19.12±3.27 i
4%春雷霉素 AS 4% Kasugamycin AS	50	32.41±1.95 i	56.67±2.58 d	35.00±1.47 h	54.49±2.64 c
	100	21.11±0.56 k	71.77±0.32 b	22.41±2.74 j	70.96±2.24 a
5%噻霉酮 SC 5% Benziothiazolinone SC	50	37.78±0.56 g	49.47±1.70 f	41.48±1.70 g	46.07±2.81 d
	100	25.19±1.95 j	66.37±1.35 c	27.41±3.16 i	64.50±2.11 b
0.3%四霉素 AS 0.3% Tetracycline AS	50	45.56±0.00 ef	39.05±2.26 gh	60.74±3.21 bc	21.10±2.95 hi
	100	33.15±4.10 hi	55.61±6.11 de	47.04±0.64 e	38.77±4.44 f
0.5%小檗碱 AS 0.5% Berberine AS	50	20.19±2.31 k	72.97±3.51 b	29.44±4.75 i	61.87±4.96 b
	100	15.19±0.64 l	79.66±1.56 a	20.56±2.00 j	73.24±3.11 a
CK		74.81±2.80 a		77.04±4.49 a	

为 50 和 100 mg·L⁻¹时,对甜瓜苗细菌性果斑病的预防效果可达 72.97%和 79.66%;其次是 20%丙硫唑 SC、4%春雷霉素 AS 和 5%噻霉酮 SC,在 100 mg·L⁻¹时,效果分别为 73.27%、71.77%和 66.37%,在治疗试验中,上述 4 种药剂仍然有较高的活性,其中,20%丙硫唑 SC、4%春雷霉素 AS 和 0.5%小檗碱 AS 防治效果最好,在 100 mg·L⁻¹时,防治效果分别达到了 70.42%、70.96%和 73.24%,这 3 种药剂的防治效果无显著差异,但均显著高于其他药剂处理。

3 讨论与结论

细菌性果斑病是西瓜、甜瓜等葫芦科作物上一种可造成严重经济损失的细菌性病害,杀菌剂是控制其侵染危害、降低病害损失的最有效措施,生产上该病的防治以化学药剂防治为主。目前生产上

防治细菌性果斑病多用农用抗生素和铜制剂^[20],但抗生素和铜制剂的大量使用也带来了抗药性、药害和生态环境安全等问题,同时该病也缺乏相应的登记农药。笔者以引起瓜类细菌性果斑病的病原菌西瓜噬酸菌为靶标对象,测试了 19 种商品杀菌剂对该病原菌的离体和活体杀菌活性,发现 20%辛菌胺醋酸盐 AS、20%丙硫唑 SC、4%春雷霉素 AS、1%申嗪霉素 SC、5%噻霉酮 SC、0.3%四霉素 AS、0.5%小檗碱 AS 和 0.4%蛇床子素 AS 等 8 种杀菌剂对该病原菌具有较高的离体杀菌毒力;进一步的盆栽试验结果表明,在上述初筛的 8 种药剂中,0.5%小檗碱 AS、20%丙硫唑 SC、4%春雷霉素 AS 和 5%噻霉酮 SC 对甜瓜幼苗细菌性果斑病均有较好的预防和治疗效果,经过后续的田间试验验证后,有望用于细菌性果斑病的防治。

笔者在本研究中发现,除了丙硫唑、春雷霉素和噻霉酮这3种常用的杀菌剂外,植物源杀菌剂小檗碱在防治细菌性果斑病中效果显著。0.5%小檗碱 AS 在供试质量浓度为 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时治疗效果与4%春雷霉素 AS 和20%丙硫唑 SC 相当,其同等浓度的保护效果显著高于其他3种药剂。而且,在试验过程中未观察到小檗碱处理对甜瓜幼苗生长有明显的不良影响。研究表明,小檗碱具有多种生物活性,可抗细菌、抗真菌、抗病毒,在农业上兼具杀虫、杀菌、除草活性和植物免疫诱抗作用^[21-23],已在植物保护方面被广泛应用,尤其是在防治植物病害方面。戴为光等^[24]发现,0.5%小檗碱 AS 可以有效地防治葡萄霜霉病,并且0.5%小檗碱 AS 属植物源杀菌剂,对果面无污染,对葡萄生长安全,可在生产上推广应用。黎芳靖等^[25]的研究表明,小檗碱对水稻白叶枯病菌和细菌性条斑病菌生长有较强的抑制作用,并对水稻白叶枯病和细菌性条斑病表现出较好的防效。关于小檗碱对病害的作用机制研究表明,小檗碱可破坏病原菌的细胞壁和细胞膜,并能抑制 DNA 和蛋白质的合成等^[26-27];另外,小檗碱对细菌的耐药性具有消除作用且与多种抗生素的药剂具有协同作用^[28]。因此,小檗碱对植物病害的高活体活性可能与小檗碱的多重作用机制有关。在化学农药减施的大背景下,植物源杀菌剂小檗碱在防治甜瓜细菌性果斑病方面具有较广阔的应用前景。

综上所述,笔者从19种化学农药、铜制剂、抗生素和植物源农药中筛选到了0.5%小檗碱 AS、20%丙硫唑 SC、4%春雷霉素 AS 和5%噻霉酮 SC 等4种对瓜类细菌性果斑病具有较高杀菌活性的药剂,为指导田间甜瓜细菌性果斑病的防治和登记药剂提供了参考依据,后续将对优选出的药剂进一步开展协同增效、种子处理等试验,并在田间试验条件下比较其防效,明确适用于甜瓜细菌性果斑病田间防治的杀菌剂。

参考文献

- [1] 季苇芹,叶云峰,张爱萍,等.我国瓜类细菌性果斑病研究新进展[J].中国瓜菜,2022,35(9):1-8.
- [2] 张兴平,BILLYB R.一种毁灭性的西瓜新病害:细菌性果实腐斑病[J].中国瓜菜,1990,3(2):44-45.
- [3] 武建华,刘甲琦,刘宝玉,等.7种杀菌剂对甜瓜细菌性果斑病的防效分析[J].农业技术与装备,2021(9):7-8.
- [4] 陈亮,颜克成,刘君丽,等.几种药剂对农作物细菌性病害的防治效果[J].农药,2017,56(11):856-858.
- [5] 阎莎莎,王铁霖,赵廷昌.瓜类细菌性果斑病研究进展[J].植物检疫,2011,25(3):71-76.
- [6] 李英梅,张伟兵,杨艺炜,等.瓜类细菌性果斑病症状识别与防控[J].西北园艺(综合),2020(2):46.
- [7] 王雪,高洁,张静,等.63种杀菌剂对西瓜、甜瓜细菌性果斑病菌的室内毒力测定[J].吉林农业大学学报,2012,34(6):612-617.
- [8] 唐炎英,成娟,童龙,等.干热处理对西瓜种子活力及抑制细菌性果斑病的影响[J].中国瓜菜,2014,27(增刊1):49-51.
- [9] 武芳,李勇,路兆军,等.6株拮抗细菌对哈密瓜细菌性果斑病的大田防效[J].种业导刊,2019(12):19-24.
- [10] 王雪妍,岳丹丹,潘梦诗,等.瓜类细菌性果斑病生防菌的筛选、鉴定及发酵液抑菌稳定性研究[J].河南科学,2022,40(7):1071-1075.
- [11] 王雪妍,马焕,岳丹丹,等.一株西瓜细菌性果斑病生防菌的筛选、鉴定及其培养基优化[J].中国瓜菜,2022,35(9):9-15.
- [12] 李菊芬,林涛,马国斌,等.甜瓜种子细菌性果斑病菌 PCR 检测方法的研究[J].上海农业学报,2020,36(2):77-81.
- [13] 陆占军,李宗泽,张彦茹,等.不同药剂防治拱棚西瓜细菌性果斑病效果初探[J].中国农技推广,2022,38(8):77-79.
- [14] 刘克贞,王凯航,章建华.不同杀菌剂对甜瓜细菌性果斑病的防治效果[J].农村科技,2020(6):34-36.
- [15] 王玥双.不同药剂对瓜类幼苗细菌性果斑病防治效果比较[J].中国果业信息,2017,34(7):58.
- [16] 农业部农药检定所.农药室内生物测定试验准则 杀菌剂第16部分:抑制细菌生长量试验 浑浊度法:NY/T 1156.16-2008[S].北京:中国农业出版社,2008.
- [17] 姜珊珊,辛志梅,吴斌,等.春雷霉素与叶枯唑对黄瓜细菌性角斑病菌的联合毒力[J].山东农业科学,2016,48(9):103-106.
- [18] 于海博,毕馨月,夏博,等.辽宁西瓜和甜瓜细菌性果斑病的病原鉴定[J].沈阳农业大学学报,2019,50(3):345-350.
- [19] HOPKINS D L, THOMPSON C M. Seed transmission of *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* in cucurbits[J]. HortScience, 2002,37(6):924-926.
- [20] 王爽,杨礼哲,罗丰,等.不同药剂处理对西甜瓜细菌性果斑病的抑菌效果初探[J].热带农业科学,2011,31(11):45-48.
- [21] 张璇,吴娟,孙卫斌,等.小檗碱对牙龈卟啉单胞菌的体外抑制作用研究[J].口腔生物医学,2023,14(2):92-96.
- [22] GUO W H, YAN H, REN X Y, et al. Berberine induces resistance against tobacco mosaic virus in tobacco[J]. Pest Management Science, 2020,76(5):1804-1813.
- [23] PENG L C, KANG S, YIN Z Q, et al. Antibacterial activity and mechanism of berberine against *Streptococcus agalactiae*[J]. International Journal Clinical Experimental Pathology, 2015, 8(5):5217-5223.
- [24] 戴为光,周小军,凌士鹏,等.0.5%小檗碱水剂防治葡萄霜霉病效果简报[J].上海农业科技,2012(3):142-143.
- [25] 王帅,刘召阳,高小宁,等.10种生物源杀菌剂对苹果树腐烂病菌的室内活性评价[J].西北林学院学报,2019,34(1):150-156.
- [26] ZHU Y, MA N, LI H X, et al. Berberine induces apoptosis and DNA damage in MG-63 human osteosarcoma cells[J]. Molecular Medicine Reports, 2014, 10(4):1734-1738.
- [27] XU B B, JIANG X J, XIONG J. Structure-activity relationship study enables the discovery of a novel berberine analogue as the RXR α activator to inhibit colon cancer[J]. Journal of Medicinal Chemistry, 2020, 63(11):5841-5855.
- [28] ZHANG L, AVULA S R, ZHOU C H, et al. Design synthesis and biological evaluation of berberine-benzimidazole hybrids as new type of potentially DNA-targeting antimicrobial agents[J]. European Journal of Medicinal Chemistry, 2016, 122:205-215.