

5%氟唑活化酯乳油对西瓜甜瓜白粉病的诱导抗病效果评价

张晓慧^{1a}, 谢学文^{1a}, 李宝聚^{1*}, 张涛², 石延霞¹

(¹中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081; ²北京市植物保护站, 北京 100029)

摘要:【目的】通过田间药效试验评价新型诱导抗病激活剂5%氟唑活化酯EC对西瓜甜瓜白粉病的诱导抗病效果,为合理使用5%氟唑活化酯EC提供依据。【方法】采用叶面喷雾法对西瓜甜瓜进行诱导施药,分别于2016年及2017年在北京顺义杨镇、北京延庆县康庄镇小丰营村及北京市海淀区中国农业科学院蔬菜花卉研究所所区农场3地7个点进行田间西瓜甜瓜白粉病的诱导抗病试验。【结果】综合2 a(年)多的试验发现,5%氟唑活化酯EC对西瓜甜瓜白粉病的诱导抗病效果随质量分数增大有增高趋势,随施药次数增多有增高趋势。对于甜瓜白粉病,100、50和25 mg·kg⁻¹的5%氟唑活化酯EC诱抗效果显著高于杀菌剂40%氟硅唑EC;对于西瓜白粉病,100、50 mg·kg⁻¹的5%氟唑活化酯EC诱抗效果显著高于杀菌剂40%氟硅唑EC。但100、50 mg·kg⁻¹质量分数下有药害问题,产量也会受到影响。5%氟唑活化酯EC在质量分数为10 mg·kg⁻¹、诱导5次、诱导间隔期7 d条件下,对西瓜白粉病的诱导抗病效果最好,为97.5%,与对照诱导抗病激活剂苯并噁二唑(BTH)及杀菌剂42.8%氟菌·肟菌酯悬浮剂无显著差异。5%氟唑活化酯EC在质量分数10 mg·kg⁻¹、诱导5次、诱导间隔期7 d条件下,对甜瓜白粉病的诱导抗病效果最好,为63.89%。5%氟唑活化酯EC在质量分数10 mg·kg⁻¹、诱导5次、诱导间隔期7 d条件下,对西瓜白粉病的诱导抗病效果最好,为69.16%。【结论】5%氟唑活化酯EC对西瓜甜瓜白粉病有较好的诱导抗病效果,其最佳诱导质量分数为10~25 mg·kg⁻¹,最佳诱导次数为5次,可以取代杀菌剂施用,效果与BTH等同。

关键词: 西瓜;甜瓜;白粉病;氟唑活化酯(FBT);诱导抗病效果

中图分类号: S65 文献标志码: A 文章编号: 1009-9980(2018)01-0101-07

Effect and evaluation of the field efficacy test of 5% fluoro-substituted benzothiadiazole derivatives EC to watermelon and melon powdery mildew

ZHANG Xiaohui^{1a}, XIE Xuewen^{1a}, LI Baoju^{1*}, ZHANG Tao², SHI Yanxia¹

(¹Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; ²Beijing Plant Protection Station, Beijing 100029, China)

Abstract: 【Objective】Watermelon and melon are fruits with high economic value, and the diseases will affect the plant yields in seedling and adult periods, resulting in economic losses. The powdery mildew is a common disease in watermelon and melon production. Currently, the fungicides are commonly used to prevent and control this disease. However, the improper use of fungicides caused environmental pollution and drug resistance. The activator capable of inducing disease resistance is a new type of pesticide with low dosage, good effect and wide use, which has broad application prospect. Fluoro-substituted benzothiadiazole derivatives (FBT), a new kind of activator capable of inducing disease resistance with intellectual property right in China, which is in primary research stage and needs more field experiment data to verify

收稿日期: 2017-07-21 接受日期: 2017-11-01

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFD201010); 中国农业科学院科技创新工程(CAAS-ASTIP-IVFCAAS); 农业部园艺作物生物学与种质创制重点实验室(IVF2016)

作者简介: 张晓慧, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为植物病原生物学。E-mail: zhangxiaohui_234@163.com。a为共同第一作者。

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 010-62197975, E-mail: libaoju@caas.cn

its effect. In this study, the effects of resistance to watermelon and melon powdery mildew were studied to provide experimental basis for the rational use of 5% fluoro-substituted benzothiadiazole derivatives EC

【Methods】 In 2016, to the screening experiments of 5% FBT inducing conditions was conducted in Yang town Shunyi district and Kangzhuang town Yanqing district in Beijing. The leaf spraying method was used in this study. The concentration of 5% fluoro-substituted benzothiadiazole derivatives EC was set as follow: 100, 50, 25, 10 mg·kg⁻¹. The seedlings were sprayed every 7 days and for 3 times continuously. The induction times of 5% fluoro-substituted benzothiadiazole derivatives EC was set as follow: 3, 5 and 7 times. The seedlings were sprayed every 7 days at concentration of 25 mg·kg⁻¹. Then, the assay of 5% fluoro-substituted benzothiadiazole derivatives EC optimal application conditions was conducted in Institute of Vegetable Flower Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences. The concentration of 5% fluoro-substituted benzothiadiazole derivatives emulsifiable concentrater EC was set as 10 mg·kg⁻¹, the seedlings were sprayed every 7 days and for 5 times continuously.【Results】 The control efficacy of 5% fluoro-substituted benzothiadiazole to watermelon and melon powdery mildew was increased with the increase of concentration and the number of application of FBT. For the melon powdery mildew, the control efficacy of 5% fluoro-substituted benzothiadiazole derivatives EC at the concentration of 100, 50 and 25 mg·kg⁻¹ were significantly higher than the fungicides 40% fluorosilicone EC; For the watermelon powdery mildew, the control efficacy of 5% fluoro-substituted benzothiadiazole derivatives EC at the concentration of 100 mg·kg⁻¹ and 50 mg·kg⁻¹ were significantly higher than the control fungicide 40% fluorosilicone EC. However, 5% fluoro-substituted benzothiadiazole derivatives EC at the concentration of 100 mg·kg⁻¹ or 50 mg·kg⁻¹ caused phytotoxicity, and affected yields of watermelon. The control efficacy of 5% fluoro-substituted benzothiadiazole derivatives EC on the induction of watermelon powdery mildew was the best (97.5%) at the concentration of 10 mg·kg⁻¹, 5 times and the induction interval of 7 days. Activated benzothiadiazole (BTH) and control fungicide 42.8% fluopyramtri·floxystrobin ester EC suspension had no significant difference. The control efficacy 5% fluorazole activated ester EC was the best (63.89%) of the induced resistance to melon powdery mildew at the concentration of 10 mg·kg⁻¹, induced 5 times and the induction interval was 7 days. 5% fluoro-substituted benzothiadiazole derivatives EC was 69.16% when the concentration was 10 mg·kg⁻¹, induced 5 times and the induction interval was 7 days. The control efficacy to watermelon powdery mildew was the best. 【Conclusion】 5% fluoro-substituted benzothiadiazole derivatives EC had significant effects on western melon powdery mildew, and its optimal induction concentration was 10–25 mg·kg⁻¹, the optimal induction time was 5 times.

Key words: Watermelon; Melon; Powdery mildew; Fluoro-substituted benzothiadiazole derivatives (FBT); Induction of disease resistance

白粉菌属 (*Erysiphe cichoracearum*) 和单囊壳属单囊壳菌 (*Sphaerotheca fuliginea*) 引起的白粉病是瓜类作物上危害比较严重的一种病害, 在整个生育期均可危害, 主要危害叶片, 降低植株的光合速率, 严重时也可以侵染茎, 一般对果实没有危害, 但会影响单株坐果率, 使果实变小, 影响产量^[1]。目前, 农业部登记防治瓜类白粉病的杀菌剂较多, 如戊唑醇 (tebuconazole)、氟硅唑 (flusilazole)、噁菌酯 (azoxys-

trobin) 及乙嘧酚 (ethirimol) 等。但化学药剂的长期使用导致抗药性加剧和农药污染引起的生态环境问题。国家提出对化学农药减施增效总目标, 需要更加高效安全的技术来替代现有化学农药防治。

氟唑活化酯 (化学名称为 2,2,2-三氟乙基苯并 [1,2,3] 噁二唑-7-甲酸酯, 简称 FBT), 是由华东理工大学与中国农业科学院蔬菜花卉研究所联合研发的具有自主知识产权的新型植物诱导抗病剂, 2015 年

作为新农药在防治黄瓜白粉病上进行登记(登记号 L'S20150102),剂型为5%氟唑活化酯乳油,属于BTH类似物^[2]。石延霞等^[3-5]研究发现,在发病前施药能有效降低病情指数,它不直接杀死病原菌,而是通过诱导植株产生系统获得抗性来发挥作用^[6-10]。该诱导抗病激活剂属于新型农药,其应用技术及应用范围等仍需在生产中不断丰富,为推广这种新型农药的应用范围,在田间对其进行效果及安全性评价是必要的。笔者选取了3个地区的瓜类生产基地,以5%氟唑活化酯EC为试验材料,研究其对西瓜及甜瓜白粉病的诱导抗病效果、适宜浓度、适宜施药次数以及对西瓜甜瓜的安全性,以期为该药在生产中的安全合理使用提供依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料

5%氟唑活化酯乳油(fluoro-substituted benzothiadiazole derivatives,简称FBT)由江苏省南通泰禾化工有限公司生产,对照杀菌剂40%(ω ,后同)氟硅唑乳油(flusilazole)由陕西汤普森生物科技有限公司生产,42.8%氟菌·肟菌酯悬浮剂(fluopyramtri·floxystrobin)由拜耳(中国)作物科学公司生产,对照诱导抗病激活剂苯并噻二唑(benzothiadiazole,简称BTH)由华东理工大学合成并提供。供试作物为甜瓜(*Cucumis melo* L.)品种‘绿蜜’、西瓜(*Citrullus lanatus*)品种‘京秀’。

1.2 试验地点

2016年5月、2017年4月分别在北京顺义杨镇、北京延庆县康庄镇小丰营村及北京市海淀区中国农业科学院蔬菜花卉研究所所区农场3地共选择7个点进行试验。北京顺义杨镇试验地土质棕壤,有机质含量(ω ,后同)为1.31%,碱解氮(ω ,后同)为74 mg·kg⁻¹,pH=6.8;北京延庆县康庄镇小丰营村试验地土质棕壤,有机质含量为2.12%,碱解氮为65 mg·kg⁻¹,pH=6.7;北京市海淀区中国农业科学院蔬菜花卉研究所所区农场试验地土质棕壤,有机质含量2.6%,碱解氮115 mg·kg⁻¹,pH=6.7。

每处理4次重复,每重复1个小区,每个小区面积约15 m²,随机区组排列。种植密度为每666.7 m² 3 500株;前茬作物:甜瓜/西瓜;田间管理与生产上温室西瓜甜瓜的栽培管理技术相同,各小区栽培管理条件基本一致,且试验期间没用过其他杀菌剂、杀

虫剂。

1.3 方法

1.3.1 5%氟唑活化酯EC对西瓜甜瓜白粉病的田间效果评价 2016年5月分别在北京顺义杨镇及北京延庆县康庄镇小丰营村2地进行试验,将5%氟唑活化酯EC配制成质量分数分别为10、25、50、100 mg·kg⁻¹的系列供试药液,对照药剂40%氟硅唑EC质量分数为50 mg·kg⁻¹,以清水处理为空白对照。5%氟唑活化酯EC于西瓜甜瓜定植缓苗后,病害发生前进行第1次施药。第1次喷药在2016年6月5日(开花期),叶面喷施,之后每隔7 d喷雾防治1次,共施药3次。对照药剂40%氟硅唑EC处理方式与供试药剂相同。于清水对照自然发生白粉病时,按每小区对角线5点取样调查全株叶片,每点选2株共10株,计算病情指数及其诱导抗病效果。

2017年4月在北京市海淀区中国农业科学院蔬菜花卉研究所所区农场进行试验,将5%氟唑活化酯EC配制成质量分数为10 mg·kg⁻¹的供试药液,对照诱导抗病剂BTH质量分数为10 mg·kg⁻¹,对照杀菌剂42.8%氟菌·肟菌酯SC的浓度为每666.7 m² 10 mg,以清水处理为空白对照。5%氟唑活化酯EC于西瓜定植缓苗后、病害发生前进行第1次施药。第1次喷药在4月21日(开花期),叶面喷施,以后每隔7 d喷雾防治1次,共施药5次。对照药剂42.8%氟菌·肟菌酯SC处理方式与供试药剂相同。于清水对照自然发生白粉病时,按每小区对角线5点取样调查全株叶片,每点选2株共10株,计算病情指数及其诱导抗病效果。

1.3.2 5%氟唑活化酯EC不同施药次数对西瓜甜瓜白粉病的田间效果评价 2016年5月在北京顺义杨镇进行试验,将5%氟唑活化酯EC配制成质量分数为25 mg·kg⁻¹的供试药液,对照药剂40%氟硅唑EC质量分数为50 mg·kg⁻¹,以清水处理为空白对照。5%氟唑活化酯EC及40%氟硅唑EC均于西瓜甜瓜定植缓苗后、病害发生前进行第1次施药。第1次喷药在5月20日(开花期),叶面喷施,之后按照7 d间隔期分别施用3、5和7次。对照药剂40%氟硅唑EC处理方式与供试药剂相同。于清水对照自然发生白粉病时,按每小区对角线5点取样调查全株叶片,每点选2株共10株,计算病情指数及其诱导抗病效果。

1.3.3 调查方法 病害调查方法、安全性评价方法和病情指数、诱导抗病效果的计算参照文献^[11]的

方法进行。

1.4 数据处理

利用 SPSS 19.0 Duncan's 新复极差法对数据进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 5%氟唑活化酯 EC 对甜瓜白粉病田间效果评价

2016年5月北京顺义杨镇大棚试验结果(表1)表明,5%氟唑活化酯 EC 对甜瓜白粉病有较好的诱导抗病作用。4个质量分数中,100、50、25 mg·kg⁻¹的诱抗效果差异不显著,施用后诱抗效果分别为86.82%、81.42%、84.22%,各质量分数诱抗效果均高于对照杀菌剂40%氟硅唑 EC,且氟唑活化酯的诱导抗病效果随着质量分数的增大有增高的趋势。但5%氟唑活化酯 EC 质量分数为100、50 mg·kg⁻¹时有不同程度的药害,质量分数为100 mg·kg⁻¹时有可恢复的明显药害,具体表现为叶片颜色变淡;质量分数为50 mg·kg⁻¹时有轻微药害,但不影响生长,具体表现为叶片颜色轻微变淡。5%氟唑活化酯 EC 各质量

分数处理中仅有50 mg·kg⁻¹的产量低于空白对照,其余质量分数处理产量均高于空白对照。其中,5%氟唑活化酯 EC 在质量分数为10 mg·kg⁻¹时小区产量最高,为7.62 kg。综合诱导抗病效果、安全性及产量,5%氟唑活化酯 EC 对甜瓜白粉病的最佳施用质量分数为10~25 mg·kg⁻¹。

2016年5月北京延庆县康庄镇小丰营蔬菜基地试验结果(表1)表明,5%氟唑活化酯 EC 对甜瓜白粉病有较好的诱导抗病作用。4个质量分数的诱导抗病效果随着质量分数的增大有增高的趋势,100、50、25 mg·kg⁻¹的诱抗效果分别为79.58%、72.25%、72.16%,高于对照杀菌剂40%氟硅唑 EC,而质量分数为100和50 mg·kg⁻¹时有轻微药害,具体表现为叶片颜色轻微变淡,但不影响生长。5%氟唑活化酯 EC 各质量分数处理的产量与药剂对照40%氟硅唑 EC 及空白对照无显著差异。5%氟唑活化酯 EC 在质量分数为25 mg·kg⁻¹时小区产量最高,为14.61 kg。结合诱导抗病效果、田间施用的安全性及对产量的影响,建议5%氟唑活化酯 EC 的最佳施用质量分数为10~25 mg·kg⁻¹。

表 1 5%氟唑活化酯 EC 对甜瓜白粉病诱抗效果及产量的影响

Table 1 Effect of 5% fluoro-substituted benzothiadiazole derivatives EC on control effect and yield of melon powdery mildew

处理 Treatment	有效成分用量 Active ingredients/ (mg·kg ⁻¹)	2016年北京顺义杨镇 Yang town, Shunyi district, Beijing in 2016				2016年延庆县康庄镇小丰营蔬菜基地 Xiao Feng camp vegetable base, Kangzhuang town, Yanqing county in 2016			
		末次药后 平均病情 指数 Average disease index	3次施药后 诱抗效果 Effect of induced resistance/%	3次施药后 平均每小 区产量 Average yield/kg	药害 Phytot- otoxicity	末次药后 平均病情 指数 Average disease index	3次施药后 诱抗效果 Effect of induced resistance/%	3次施药后 平均每小 区产量 Average yield/kg	药害 Phytot- otoxicity
5%氟唑活化酯 EC FBT	100	1.48±0.62 d	86.82±5.16 a	5.12±0.43 bc	++	15.12±1.70 d	79.58±2.59 a	12.76±2.65 a	+
5%氟唑活化酯 EC FBT	50	1.55±0.48 d	81.42±2.98 a	4.48±0.51 c	+	21.05±1.45 c	72.25±5.40 b	13.98±2.10 a	+
5%氟唑活化酯 EC FBT	25	1.64±0.33 d	84.22±4.10 a	5.54±0.25 b	-	21.13±1.78 c	72.16±1.90 b	14.61±1.66 a	-
5%氟唑活化酯 EC FBT	10	2.98±0.38 c	68.96±3.44 b	7.62±0.41 a	-	35.87±1.30 b	54.44±4.01 c	12.52±1.21 a	-
40%氟硅唑 EC Flusilazole	50	3.92±0.38 b	61.57±2.38 c	5.56±0.32 b	-	22.50±2.54 c	71.39±3.06 b	13.23±2.20 a	-
空白对照 Control		9.25±0.52 a		5.20±0.89 bc	-	75.90±1.56 a		13.23±1.67 a	-

注:-, 无药害;+, 轻度药害,不影响叶片、花、果正常生长;++, 明显药害,可恢复。表内数据为平均数±标准差,同列数据后不同小写字母表示经 Duncan's 多重比较差异显著($P < 0.05$)。下同。

Note: -, No injury; +, Slight injury, does not affect the leaves, flowers, fruit normal growth; ++, Obvious injury, but it is recoverable. Data are presented as mean±SE, and followed by different small letters indicating significant differences at the 0.05 level respectively by using the Duncan's new multiple range test. The same below.

2.2 5%氟唑活化酯 EC 对西瓜白粉病田间效果评价

2016年5月北京顺义杨镇大棚试验结果(表2)表明,5%氟唑活化酯 EC 对西瓜白粉病有较好的诱导抗病作用。4个质量分数的诱抗效果均显著高于

对照杀菌剂40%氟硅唑 EC,且诱导抗病效果随着质量分数的增大有增高的趋势,质量分数为100 mg·kg⁻¹时诱导抗病效果最好,达85.8%,但有轻微的药害,具体表现为叶片颜色轻微变淡。5%氟唑活化酯 EC 各质量分数处理的产量均高于空白对照,仅当质量分

数为10 mg·kg⁻¹时,产量显著性高于药剂杀菌剂40%氟硅唑EC,为每小区产量13.63 kg。根据其田间的安全性及产量,结合诱导抗病效果及成本,5%氟唑活化酯EC的适宜施用质量分数为10~25 mg·kg⁻¹。

2016年5月北京延庆县康庄镇小丰营蔬菜基地试验结果(表2)表明,5%氟唑活化酯EC对西瓜白粉病有较好的诱导抗病作用。4个质量分数的诱导抗病效果随着质量分数的增大有增高的趋势,质量分数为100 mg·kg⁻¹时诱抗效果最好,为69.3%,高于对

照杀菌剂40%氟硅唑EC。但5%氟唑活化酯EC质量分数为100 mg·kg⁻¹时有轻微药害,具体表现为叶片颜色轻微变淡。5%氟唑活化酯EC各质量分数处理的产量与对照杀菌剂40%氟硅唑EC及空白对照无显著差异,质量分数为10 mg·kg⁻¹时产量高于药剂杀菌剂40%氟硅唑EC,为每小区产量7.44 kg。综合安全性、产量、成本及诱导抗病效果,建议5%氟唑活化酯EC对西瓜白粉病的最佳施用质量分数为10~25 mg·kg⁻¹。

表2 5%氟唑活化酯EC对西瓜白粉病诱抗效果及产量影响

Table 2 Effect of 5% fluoro-substituted benzothiadiazole derivatives EC on disease control effect and yield of watermelon powdery mildew

处理 Treatment	有效成分用量 Active ingredients/ (mg·kg ⁻¹)	2016年北京顺义杨镇 Yang town, Shunyi district, Beijing in 2016				2016年延庆县康庄镇小丰营蔬菜基地 Xiao Feng camp vegetable base, Kangzhuang town, Yanqing county in 2016			
		末次药后平均病情指数 Average disease index	3次施药后诱抗效果 Effect of induced resistance/%	3次施药后平均每小区产量 Average yield/kg	药害 Phytotoxicity	末次药后平均病情指数 Average disease index	3次施药后诱抗效果 Effect of induced resistance/%	3次施药后平均每小区产量 Average yield/kg	药害 Phytotoxicity
		5%氟唑活化酯EC FBT 100	10.02±1.95 e	85.80±2.76 a	8.73±1.45 bc	+	20.59±1.06 c	69.30±1.57 a	5.92±1.52 a
5%氟唑活化酯EC FBT 50	16.50±2.23 d	76.63±3.16 b	6.87±0.58 d	-	26.47±1.10 b	60.53±1.64 b	7.44±1.06 a	+	
5%氟唑活化酯EC FBT 25	19.59±2.26 cd	72.25±3.20 c	6.86±0.64 d	-	26.33±1.59 b	60.74±2.37 b	6.89±1.42 a	-	
5%氟唑活化酯EC FBT 10	22.52±1.00 c	68.09±1.42 c	13.63±2.44 a	-	27.32±1.16 b	59.27±1.73 b	6.23±0.47 a	-	
40%氟硅唑EC Flusilazole 50	41.57±1.47 b	41.10±2.10 d	10.29±2.05 b	-	26.05±1.41 b	61.16±2.09 b	7.50±1.01 a	-	
空白对照 Control	70.59±2.50 a		6.60±2.17 c	-	67.07±0.56 a		6.96±0.45 a	-	

为了比较氟唑活化酯(FBT)与其他商品化比较成熟的诱导抗病激活剂之间的效果差异,于2017年4月在北京市海淀区中国农科院蔬菜花卉研究所农场进行5%氟唑活化酯EC对西瓜白粉病的诱导抗病效果评价,结果(表3)表明,5%氟唑活化酯EC对西瓜白粉病有较好的诱导抗病作用。在质量分数为10 mg·kg⁻¹、诱导5次、诱导间隔期7 d条件下,诱导抗病效果达到97.5%,而对照诱导抗病剂苯并噻二唑(BTH)诱导抗病效果为97.31%,对照杀菌剂42.8%氟菌·肟菌酯SC的防效为99.35%,5%氟唑活化酯EC与对照诱抗剂及对照杀菌剂之间无显著差异。

2.3 5%氟唑活化酯EC不同施药次数对西瓜甜瓜白粉病田间效果评价

2016年5月北京顺义杨镇大棚试验结果(表4)表明,5%氟唑活化酯EC对甜瓜白粉病有较好的诱导抗病作用。5%氟唑活化酯EC对甜瓜白粉病的诱抗效果随着施药次数的增加而逐渐升高,施用3、5、7次后诱抗效果分别为62.2%、63.89%、67.68%,与对

表3 5%氟唑活化酯EC对西瓜白粉病诱导抗病效果

Table 3 Effect of 5% fluoro-substituted benzothiadiazole derivatives EC on control effect and yield of watermelon powdery mildew

处理 Treatment	有效成分用量 Active ingredients	末次药后平均病情指数 Average disease index	5次施药后诱抗效果 Effect of induced resistance/%	药害 Phytotoxicity
5%氟唑活化酯EC FBT	10 mg·kg ⁻¹	1.34±0.52 b	97.50±2.16 a	-
苯并噻二唑 BTH	10 mg·kg ⁻¹	1.45±0.43 b	97.31±2.98 a	-
42.8%氟菌·肟菌酯SC 42.8% fluopyramtri·floxystrobin ester EC	10 mg·666.7 m ⁻²	0.35±0.43 b	99.35±2.10 a	-
空白对照 Control	-	51.76±1.52 a	-	-

照杀菌剂40%氟硅唑EC施药7次后无显著差异。且诱导3、5、7次后小区产量与对照杀菌剂40%氟硅唑EC及空白对照均无显著差异。本试验5%氟唑活化

酯 EC 质量分数为 $25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 不同施药次数均无药害问题。综合前面的诱导抗病效果、田间施用的安全性、产量及节约成本的原则, 建议 5% 氟唑活化酯 EC 的最佳施用质量分数为 $25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 诱导 5 次。

2016 年 5 月北京顺义杨镇大棚试验结果(表 4)表明, 5% 氟唑活化酯 EC 对西瓜白粉病有较好的诱导抗病作用。5% 氟唑活化酯 EC 对西瓜白粉病的诱

抗效果随着施药次数的增加而逐渐升高, 施用 3、5、7 次后诱抗效果分别为 39.85%、69.16%、77.04%, 显著高于对照杀菌剂 40% 氟硅唑 EC 施药 7 次后的效果。且施用 3、5、7 次后小区产量显著高于对照杀菌剂 40% 氟硅唑 EC 及空白对照。本试验 5% 氟唑活化酯 EC 质量分数为 $25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 不同施药次数均无药害问题。从田间安全性、诱导抗病效果及产量几个

表 4 5% 氟唑活化酯 EC 不同施药次数后对西瓜甜瓜白粉病诱抗效果及产量影响

Table 4 Effect of 5% fluoro-substituted benzothiadiazole derivatives EC on the induced effect and yield of watermelon and melon powdery mildew after different application times

处理 Treatment	施药 次数 Induce number	甜瓜白粉病 Melon powdery mildew			药害 Phytot- otoxicity	西瓜白粉病 Watermelon powdery mildew			药害 Phytot- otoxicity
		施药后平均 病情指数 Average disease index	末次施药 后诱抗效果 Effect of induced resistance/%	末次施药 后平均每 小区产量 Average yield/kg		施药后平均 病情指数 Average disease index	末次施药 后诱抗效果 Effect of induced resistance/%	末次施药 后平均每 小区产量 Average yield/kg	
5% 氟唑活化酯 EC FBT	3	5.50±0.79 b	62.20±5.42 b	3.88±0.68 b	-	42.71±1.41 c	39.85±2.00 c	12.78±1.63 ab	-
5% 氟唑活化酯 EC FBT	5	5.25±0.26 b	63.89±1.81 b	3.69±0.04 b	-	21.90±1.57 d	69.16±2.22 b	13.68±1.47 a	-
5% 氟唑活化酯 EC FBT	7	4.70±0.37 b	67.68±2.57 a	3.40±0.44 a	-	16.31±2.06 e	77.04±2.89 a	11.67±0.38 b	-
40% 氟硅唑 EC Flusilazole	7	4.53±0.34 b	68.84±2.37 a	3.38±0.19 a	-	45.61±0.73 b	35.78±1.03 d	10.75±1.56 c	-
空白对照 Control	-	14.54±0.99 a	-	3.54±0.39 a	-	71.01±1.10 a	-	6.82±0.63 d	-

方面综合来看, 5% 氟唑活化酯 EC 对西瓜白粉病的最佳施用质量分数为 $25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 诱导 5 次。

3 讨 论

化学农药的使用不当已经引起了环境污染、农药残留、抗药性的产生及食品安全等问题。近年来, 这一问题逐渐引起了社会各界的广泛关注和讨论。随着社会的发展, 化学农药的减量施用成为国家农业的发展战略。我国政府高度重视农药的过度使用所带来的问题, 并开始启动农药减量行动, 农业部 2015 年提出“到 2020 年化肥、农药使用量零增长”方案。而我国现已经登记的可用于防治真菌细菌病害的农药均为杀菌剂, 杀菌剂通过直接杀死病原微生物的方法来达到防治病害的目的, 但是同时也易导致抗药性及药害的产生, 还会产生农药残留和环境污染等问题。新型农药的研发及推广就显得尤为重要, 而诱导抗病激活剂作为一种新的思路和方向, 是传统杀菌剂的替代方向^[12-13]。

诱导抗病激活剂能够使植物产生系统获得抗性, 以减少病原微生物对植株的危害, 对植物病害的大面积暴发起到预防的作用。人工合成的诱导抗病剂是一类小分子化合物, 其在结构上不同于天然植

物诱导抗病剂, 它通过模仿天然诱导剂或防御信号分子的相互作用来触发防御反应^[14]。水杨酸(SA)是研究最早天然植物防御激素, 目前在全球范围内已经研究较多的诱导抗病剂多是水杨酸的类似物, 如 2,6-二氯-异烟酸(INA)和苯并噻二唑(BTH), 以及多糖类的寡聚多糖等^[15]。其中 BTH 是商品化最成功的诱导抗病激活剂(在中国尚未登记)。目前我国鲜有具有自主知识产权的诱导抗病剂的报道。

本研究所用的新型诱导抗病剂氟唑活化酯(FBT)是由华东理工大学和中国农业科学院蔬菜花卉研究所共同研发的具有自主知识产权的新型植物诱导抗病剂, 属于 BTH 类似物, 并于 2014 年在我国进行了登记。石延霞等^[2-3]研究发现, FBT 在离体条件下对黄瓜枯萎病菌(*Fusarium oxysporum*)和大白菜根肿病菌(*Plasmodiophora brassicae*)无杀菌活性, 但在盆栽条件下, 其对黄瓜枯萎病、大白菜根肿病等具有诱导抗病作用。50 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 FBT 对黄瓜抗枯萎病的诱导效果可达 62.01%, 25 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的氟唑活化酯对根肿病的防病效果达到 71.33%。陈仕红等^[6]研究发现, 氟唑活化酯有效成分(ρ) 25 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 对黄瓜猝倒病的诱抗效果可达 77.28%。目前, 关于氟唑活化酯(FBT)对叶部病害的田间效果评价尚无报道, 而本

研究弥补了这个空白。试验结果表明,作为新型农药,氟唑活化酯有应用到田间西瓜甜瓜白粉病防治中的潜质。

4 结 论

氟唑活化酯对西瓜甜瓜白粉病有较好的诱导抗病效果,4个质量分数的氟唑活化酯对西瓜甜瓜白粉病均有效果,最高质量分数 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 效果最好,但是同时会产生药害,对产量的影响也最大,综合诱导抗病效果、安全性及产量,本着节约成本的原则, $25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 及 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 是最佳应用质量分数。而在对氟唑活化酯的施药次数的试验中,施药次数 5、7次效果均较好,说明这种诱导抗病剂的效果是可以积累的。且氟唑活化酯对甜瓜白粉病的诱导抗病效果与已经商品化的 BTH 差异不明显, $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 质量分数的抗病效果达 97.5%。本试验表明氟唑活化酯在对西瓜甜瓜白粉病上为较好的新型诱导抗病激活剂。

参考文献 References:

- [1] 周益林,段霞瑜,盛宝钦.植物白粉病的化学防治进展[J]. 农药学报,2001,3(2): 12-18.
ZHOU Yilin, DUAN Xiayu, SHENG Baoqin. Advances in chemical control of plant powdery mildew[J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2001, 3(2): 12-18.
- [2] 石延霞,韩之琪,谢学文,宋加伟,柴阿丽,李宝聚. 氟唑活化酯诱导大白菜抗根肿病的研究[J]. 中国生物防治学报,2015,31(6):907-912.
SHI Yanxia, HAN Zhiqi, XIE Xuewen, SONG Jiawei, CHAI Ali, LI Baoju. Resistance of Chinese cabbage to *Plasmiodiophora brassicae* under induction of fluoro-substituted benzothiadiazole derivatives[J]. Chinese Journal of Biological Control, 2015, 31(6): 907-912.
- [3] 石延霞,徐玉芳,谢学文,柴阿丽,王微微,李宝聚. 氟唑活化酯对黄瓜抗枯萎病的诱导作用[J]. 中国农业科学,2015,48(19): 3848-3856.
SHI Yanxia, XU Yufang, XIE Xuewen, CHAI Ali, WANG Weiwei, LI Baoju. Effects of FBT on induction of systemic resistance in cucumber against *Cucurbiturium wilt* caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* Owen[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(19): 3848-3856.
- [4] 石延霞,王微微,柴阿丽,谢学文,张凯丽,李宝聚. 2,2,2-三氟乙基苯并[1,2,3]噻二唑-7-甲酸酯对黄瓜霜霉病的诱导抗病性[J]. 农药学报,2011,13(4):419-422.
SHI Yanxia, WANG Weiwei, CHAI Ali, XIE Xuewen, ZHANG Kaili, LI Baoju. Resistance of cucumber to downy mildew induced by novel elicitor candidate, TBTC (1,2,3-benzothiadiazole-7-carboxylic acid, 2,2,2-trifluoroethyl ester)[J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2011, 13(4): 419-422.
- [5] 石延霞,杜青山,安智慧,李宝聚. 苯并噻二唑甲酸三氟乙酯诱导仙客来抗枯萎病的研究[J]. 中国生物防治学报,2011,27(3): 378-382.
SHI Yanxia, DU Qingshan, AN Zhihui, LI Baoju. Study on resistance of cyclamen to *Fusarium wilt* induced by 1,2,3-benzothiadiazole-7-carboxylic acid, 2,2,2-trifluoroethyl ester[J]. Chinese Journal of Biological Control, 2011, 27(3): 378-382.
- [6] 陈仕红,纪明山,左平春,臧晓霞,孙中华. 氟唑活化酯诱导黄瓜抗猝倒病及其对黄瓜苗期生理指标的影响[J]. 农药学报,2016,18(2): 207-212.
CHEN Shihong, JI Mingshan, ZUO Pingchun, ZANG Xiaoxia, SUN Zhonghua. Resistance induced by fluoro-substituted benzothiadiazole derivatives against cucumber damp-off and its effects on the physiological index of cucumber seedlings[J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2016, 18(2): 207-212.
- [7] 韩之琪,谢学文,晋知文,宋加伟,柴阿丽,石延霞,李宝聚. 氟唑活化酯诱导大白菜抗根肿病效果与机理初步研究[J]. 园艺学报,2015,42(4): 697-705.
HAN Zhiqi, XIE Xuewen, JIN Zhiwen, SONG Jiawei, CHAI Ali, SHI Yanxia, LI Baoju. Systemic resistance induced by fluoro-substituted benzothiadiazole derivatives against *Plasmiodiophora brassicae* in Chinese cabbage[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2015, 42(4): 697-705.
- [8] 邱德文. 植物免疫诱导剂的研究进展与应用前景[J]. 中国农业科技导报,2014,16(1): 39-45.
QIU Dewen. Progress and prospect of plant immunity inducer[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2014, 16(1): 39-45.
- [9] 刘峰,慕卫. 植物系统获得抗病性与化学诱导抗病剂[J]. 农药科学与管理,2001(增刊1): 37-38.
LIU Feng, MU Wei. Plant systemic acquired resistance and chemical inducer for plant disease resistance[J]. Pesticide Science and Administration, 2001(Suppl. 1): 37-38.
- [10] BRUCE T J A, SMART L E, BIRCH A N E, BLOK V C, MACKENZIE K, GUERRIERI E, CASCONI P, LUNA E, TON J. Prospects for plant defence activators and biocontrol in IPM—concepts and lessons learnt so far[J]. Crop Protection, 2017, 97: 128-134.
- [11] 农业部农药鉴定所生测室. 农药田间药效实验准则(一)[M]. 北京:中国标准出版社,1994: 56-60.
Ministry of Agriculture Pesticide Identification of the Measured Room Compiled. Pesticide field efficacy test guidelines (1) [M]. Beijing: China Standard Press, 1994: 56-60.
- [12] SONG G C, RYU S Y, KIM Y S, LEE J Y, CHOI J S, RYU C M. Elicitation of induced resistance against *Pectobacterium carotovorum* and *Pseudomonas syringae* by specific individual compounds derived from native Korean plant species[J]. Molecules, 2013, 18(10): 12877-12895.
- [13] WANG F D, FENG G H, CHEN K S. Defense responses of harvested tomato fruit to burdock fructooligosaccharide, a novel potential elicitor[J]. Postharvest Biology & Technology, 2009, 52(1): 110-116.
- [14] JONES J D G, DANGL J L. The plant immune system[J]. Nature, 2006, 444(7117): 323-329.
- [15] BEKTAS Y, EULGEM T. Synthetic plant defense elicitors[J]. Frontiers in Plant Science, 2015, 5: 804.