

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2023.05.004

0.53%瑞香素乳油诱导烟草抗青枯病的效果

李吉秀¹, 朱晓伟², 王叶¹,
王焱¹, 杨亮¹, 徐小洪²

1. 西南大学 植物保护学院, 重庆 400715;

2. 中国烟草总公司 重庆市公司, 重庆 400023

摘 要: 为明确 0.53%瑞香素乳油对烟草青枯病的防效和防病机制, 通过室内盆栽试验、酶活性测定和田间试验, 分析 0.53%瑞香素乳油对烟草青枯防控效果及叶片防御酶活性。室内结果表明, 与 0.1%S-诱抗素水剂、5%氨基寡糖素水剂、0.01%芸苔素内酯乳油相比, 0.53%瑞香素乳油能够有效减少烟草青枯病的发生, 在接种后第 10 d, 诱导抗性效果依然高达 71.66%。瑞香素可显著提高烟叶 PPO 酶、CAT 酶和 SOD 酶活性, 其酶活性分别在 10 min、12 h 和 24 h 达到最大值, 其值分别为 169.02 U/g, 145.42 U/g 和 111.51 U/g。田间试验结果显示, 0.53%瑞香素乳油能够促进烟株生长, 而且在病害发生高峰期(8 月 7 日), 0.53%瑞香素乳油能够有效诱导烟草对青枯病的抗性, 相对防效达到 44.33%, 优于商品类抗性诱导剂。以上结果表明, 0.53%瑞香素乳油可作为一种新型的植物源抗性诱导剂, 为烟草青枯病的绿色防控提供理论支撑。

关 键 词: 瑞香素; 烟草青枯病; 防效; 酶活性

中图分类号: S435.1

文献标志码: A

文章编号: 2097-1354(2023)05-0033-08

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The Effects of 0.53% Daphnetin EC on Inducing Tobacco Resistance to Tobacco Bacterial Wilt

LI Jixiu¹, ZHU Xiaowei², WANG Ye¹,
WANG Yao¹, YANG Liang¹, XU Xiaohong²

1. School of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Company of China Tobacco Corporation, Chongqing 400023, China

收稿日期: 2023-06-30

基金项目: 重庆市烟草专卖局科技项目(B20211NY1316); 渝东南植烟土壤改良关键技术集成与示范应用(B20221NY1312)。

作者简介: 李吉秀, 硕士研究生, 主要从事天然产物农药研究。

通信作者: 徐小洪, 农艺师。

Abstract: In order to explore the role of daphnetin as a potential new plant elicitor, and clarify control effect of daphnetin on tobacco bacterial wilt, several experiments such as pot experiment, enzyme activity determination and field experiment were performed in this assay. The results showed that daphnetin could effectively reduce the occurrence of tobacco bacterial wilt compared with other plant defense elicitors. The efficiency of induced resistance by daphnetin was still up to 71.66% after 10 days of inoculation with *Ralstonia solanacearum*. Daphnetin can significantly increase the activities of superoxide dismutase, catalase and polyphenol oxidase in tobacco leaves, and the enzyme activities reached to the maximum value at 10 min, 12 h and 24 h, at 169.02 U/g, 145.42 U/g and 111.51 U/g, respectively. Field experiment showed that daphnetin promoted tobacco growth, and during outbreak period of bacterial wilt disease, daphnetin significant induced systemic resistance of tobacco with a control efficiency of 44.33%. These results showed that daphnetin can be considered as a plant-derived resistance inducer for controlling tobacco bacterial wilt, which could provide theoretical support for the green prevention and control of plant disease.

Key words: daphnetin; tobacco bacterial wilt; control effect; enzyme activity

烟草是我国重要的经济作物之一,近几年因土壤酸化、发病地持续连作、土壤微生态失衡和烟株自身抗性降低等原因烟草土传病害发生严重^[1-4]。烟草青枯病是由青枯雷尔氏菌(*Ralstonia solanacearum* Smith)侵染引起的土传细菌病害,能侵染 50 多科 450 多种植物,具有致病力强、寄主范围广泛、分布广阔等特点^[5-6]。该病原菌主要破坏植物的维管组织,使得植物不能正常从土壤中吸取水分和营养物质,高温条件下植物呈现萎蔫,严重时导致烟株整株死亡。近几年,烟草青枯病在四川省、贵州省、云南省和重庆市为代表的南方烟区个别年份呈现暴发式增长,严重影响了各大烟区烟叶产质量^[7]。目前对该病害的防控措施主要有药剂防治和生物防治,其中,药剂防治仍然是一种高效、方便、更容易让烟农接受的防治措施,但面临着药剂单一、易产生抗药性、危害生物安全等一系列问题^[8-9]。因此,寻找对生态环境友好、无污染、来源于植物本身的天然产物活性的小分子显得尤为重要。

植物源天然产物活性的小分子是一种来源于植物的提取物,具有对环境友好、安全、生物活性多样等特点,广泛存在自然界中,种类丰富,有多种农用活性,如香豆素、黄酮类、生物碱、多酚、有机酸、精油等^[10]。作为植物次生代谢物质,香豆素类化合物是一类具有苯并 α -吡喃酮结构的天然化合物,主要以游离态或糖苷的形式存在植物体中,动物和微生物中也少量存在,并且鉴定出了 1 300 多种香豆素^[11-12]。有研究表明,香豆素类化合物具有抗菌活性、诱导植物抗性和作为微生物群-根-芽化学交流的信号小分子,在微生物-植物互动中发挥着重要作用^[13-14]。瑞香素(Daphnetin)是香豆素类化合物代表性的单体成分,具有抗炎、抗氧化、抗病原微生物等作用^[15-18]。目前,西南大学天然农药研究团队前期已评估了 18 种香豆素对烟草青枯雷尔氏菌(*R. solanacearum*)的抗菌活性,结果发现羟基香豆素中的瑞香素表现出较强的生物活性,最小抑菌浓度为 64 mg/L^[19-20]。瑞香素具有提取成本较大、难溶于水、易被氧化、见光易分解的特性,较难直接用于杀菌剂进行开发利用,并且在增强植物抗病性和抗逆性方面的研究少有报道。本研究从提高植物诱导抗性角度出发,探索瑞香素对烟草青枯病的诱导抗病作用,明确在瑞香素诱导烟草产生的系统抗病反应,深入研究瑞香素的诱导抗病机理,从而为其理论实践研究提供一定的指导意见。

1 材料与方

1.1 供试菌种与品种

烟草青枯菌(*R. solanacearum* CQPS-1)保存于西南大学天然产物研究中心,“云烟87”种子购买于云南玉溪中烟种子有限责任公司。

1.2 供试药剂与仪器

瑞香素原药(DA, 98%)购买于上海源叶生物科技有限公司;0.53%瑞香素乳油(EC)在西南大学天然产物农药研究室配制,其中溶剂为N-甲基吡咯烷酮,乳化剂为Tween-85,填充溶剂为松节油。5%氨基寡糖素水剂(AS)购买于上海沪联生物药业(夏邑)股份有限公司;0.01%芸苔素内酯乳油(EC)购买于爱普瑞(焦作)化学有限公司;0.1%S-抗素水剂(AS)购买于四川国光农化有限公司;过氧化氢酶(CAT酶)试剂盒、超氧化物歧化酶(SOD酶)试剂盒、多酚氧化酶(PPO酶)试剂盒均购于北京索莱宝生物科技有限公司。UV1000型单光束紫外-可见分光光度计购于上海天美科学仪器有限公司;1500型全波长酶标仪购于美国Thermo公司。

1.3 方法

1.3.1 4种诱抗剂诱导烟草青枯病的抗性比较

参考韩松庭^[21]相关研究中的室内诱抗评价方法,5%氨基寡糖素AS、0.1%S-抗素AS、0.01%芸苔素内酯EC、0.53%瑞香素EC配制有效成分的质量浓度分别为25 mg/L, 6.5 mg/L, 0.05 mg/L和2.85 mg/L。采用叶面喷施的方法,对大小一致的“三叶一心”烟草幼苗进行叶面喷施处理。每隔3 d处理一次,连续2次处理,每个处理30株烟苗,以去离子水作为对照。诱导后第3 d,灌根接种青枯病菌10 mL(1×10^8 CFU/mL),并将烟苗放置在温度为28℃、湿度为75%、光照周期14 h/10 h的人工气候箱培养,随后每天记录发病情况,并按(1)和(2)计算病情指数和相对防效。

$$\text{病情指数} = \frac{\sum(\text{发病株数} \times \text{该病级代表值})}{\text{调查总株数} \times \text{最高级代表值}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{相对防效}(\%) = \frac{\text{对照病情指数} - \text{处理病情指数}}{\text{对照病情指数}} \times 100\% \quad (2)$$

1.3.2 叶片防御酶活性测定

0.53%瑞香素EC配制有效成分的质量浓度为2.85 mg/L,并按1.3.1方法进行叶面诱导,以DMSO作为对照,然后在10 min、6 h、12 h、24 h处随机取3株烟叶片,液氮保存待测。粗酶液提取:取待测样品置于液氮冷浴的研钵中研磨至粉末,然后取0.5 g于无酶管中,每个处理分装3管。随后分别加入1 mL CAT酶、PPO酶和SOD酶提取液,震荡均匀,置于4℃,8 000 g/min低温离心10 min,离心后取上清液即为粗酶液,按照试剂盒说明书测定CAT酶、PPO酶、SOD酶活性。

1.3.3 0.53%瑞香素EC对烟草青枯病的防控效果

在重庆市彭水县润溪乡白果坪村烟草种植单元进行,移栽时间为4月30日,品种为“云烟87”。试验共设4个处理,水杨酸、苯丙噻二唑(BTH)、0.53%瑞香素EC配制有效成分的质量浓度为分别为500 mg/L, 50 mg/L, 2.85 mg/L,清水对照。每个处理3次重复,共12个小区,每个小区约80株烟,周围设置保护行。在烟草团棵期、旺长期进行叶面喷施。

农艺性状调查:各小区选择有代表性的20株烟挂牌,按照《烟草农艺性状调查方法》

(YC/T 142—1998), 在烟草打顶后 7 d 测量农艺性状, 并用公式(3)计算最大叶面积。

$$\text{单叶面积}(\text{cm}^2) = 0.6345 \times \text{叶长}(\text{cm}) \times \text{叶宽}(\text{cm}) \quad (3)$$

病害调查: 按照《烟草病虫害分级及调查方法》(GB/T 23222—2008)进行病害调查, 每隔 5 d 调查 1 次, 连续调查 5 次以上。按公式(1)和(2)计算病情指数和相对防效。

1.4 数据处理与统计学分析

采用 Excel 16 和 SPSS 17.0 软件进行数据处理与统计分析, 应用 *Tuky* 法进行差异显著性检验, 用 GraphPad Prism 8.0.2 绘图。

2 结果与分析

2.1 4 种诱导剂诱导烟草青枯病的抗性比较

由室内诱导抗性结果可见, 4 种诱导剂均能降低烟草青枯病的病情指数, 具有一定的诱导抗病性效果, 诱导抗病效果从大到小依次为 2.85 mg/L 瑞香素, 6.5 mg/L S-诱抗素, 25 mg/L 氨基寡糖素, 0.05 mg/L 芸苔素内酯。其中, 2.85 mg/L 瑞香素和 6.5 mg/L S-诱抗素的诱导抗病效果最明显, 分别能够使青枯病发病推迟 7 d 和 6 d, 较好地延缓了烟草青枯病的发生。在接菌后第 10 d 和第 12 d, 2.85 mg/L 瑞香素的病情指数分别为 28.33, 57.50, 显著低于 6.5 mg/L S-诱抗素, 25 mg/L 氨基寡糖素, 0.05 mg/L 芸苔素内酯的 52.50, 66.67, 81.66; 73.33, 83.33, 94.33。此外, 2.85 mg/L 瑞香素和 6.5 mg/L S-诱抗素在第 6 d 以后, 两者的相对防效均显著高于 25 mg/L 氨基寡糖素和 0.05 mg/L 芸苔素内酯。在接菌后第 10 d, 2.85 mg/L 瑞香素的相对防效明显高于 6.5 mg/L S-诱抗素, 25 mg/L 氨基寡糖素, 0.05 mg/L 芸苔素内酯, 相对防效依次为 71.66%, 47.56%, 33.33%, 18.33%(图 1)。

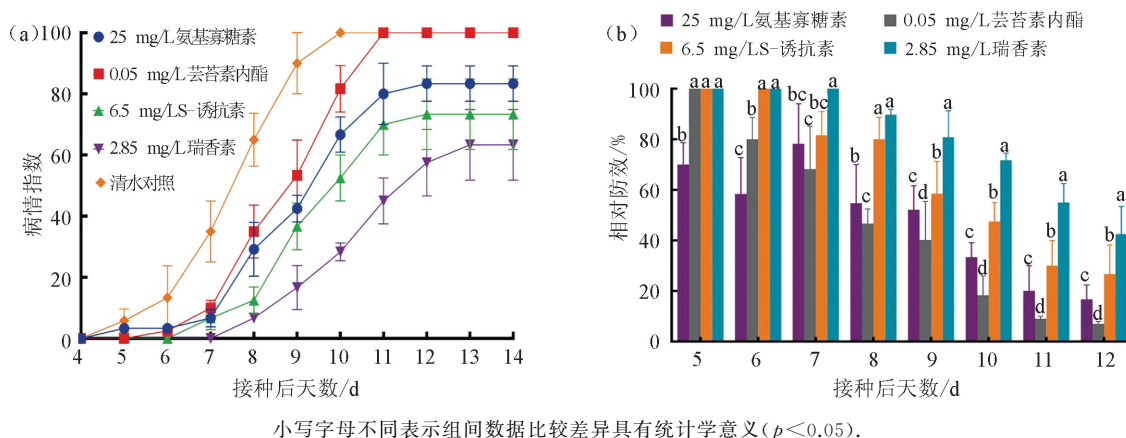
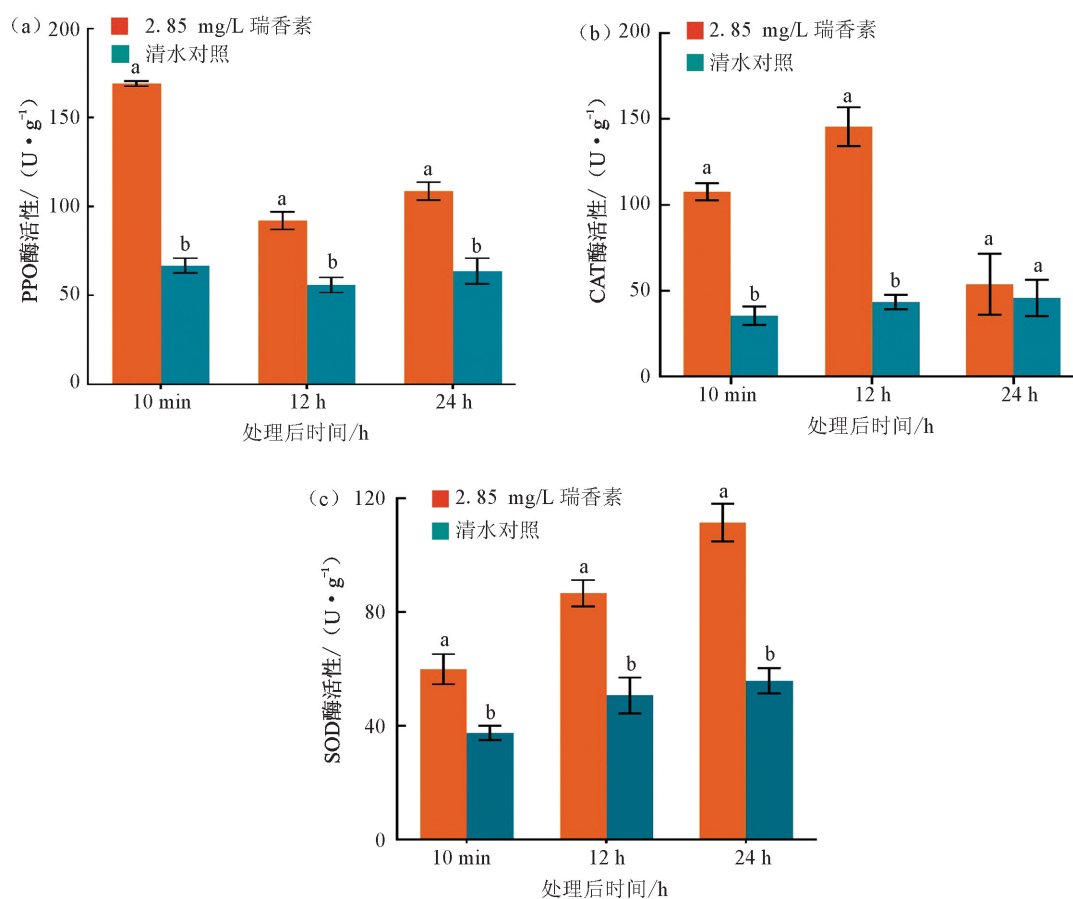


图 1 4 种诱导剂诱导烟草青枯病的防治效果比较

2.2 0.53% 瑞香素 EC 对烟草叶片防御酶活性的影响

由试验结果可知, 烟草叶片 PPO 酶活性在瑞香素处理后的 24 h 内呈现先下降后上升的趋势, 其中在第 10 min 时活性最高, 为 169.02 U/g, 明显高于清水对照的 66.72 U/g, 12 h 后, PPO 酶活性逐渐升高, 均显著高于清水对照; 烟草叶片的 CAT 酶活性在处理后的 24 h 内呈现先上升后下降的趋势, 经处理的叶片 CAT 酶活性峰值在 10 min 和 12 h, 均明显高于清水对

照, 12 h 时 CAT 酶活性为 145.42 U/g, 达到最高, 而清水对照仅为 43.30 U/g, 相比于清水对照提高了 2.36 倍; 烟草叶片的 SOD 酶活性在处理后的 24 h 内则呈上升趋势, 在第 24 h 时 SOD 酶活性最高, 为 111.51 U/g, 显著高于清水对照的 55.89 U/g(图 2)。



小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p < 0.05$)。

图 2 瑞香素处理对烟草叶片 CAT 酶、PPO 酶、SOD 酶活性的影响

2.3 0.53%瑞香素乳油 EC 对打顶期烟草农艺性状的影响

于 7 月 11 日对烟草农艺性状进行调查, 调查结果显示, 0.53%瑞香素 EC、水杨酸和苯丙噻二唑均能促进烟株的生长, 其中, 株高、最大叶长均高于清水对照, 差异具有统计学意义。此外, 水杨酸、苯丙噻二唑和 0.53%瑞香素 EC 处理的株高明显高于清水对照, 分别提高了 19.27 cm, 13.69 cm 和 17.17 cm; 水杨酸和 0.53%瑞香素 EC 处理后的最大叶长要明显高于清水对照, 分别提高了 10.28 cm 和 5.51 cm。此外, 经 3 种诱导抗性剂处理的茎围、有效叶数、节距、最大叶宽和最大叶面积与清水对照比较, 差异无统计学意义(表 1)。

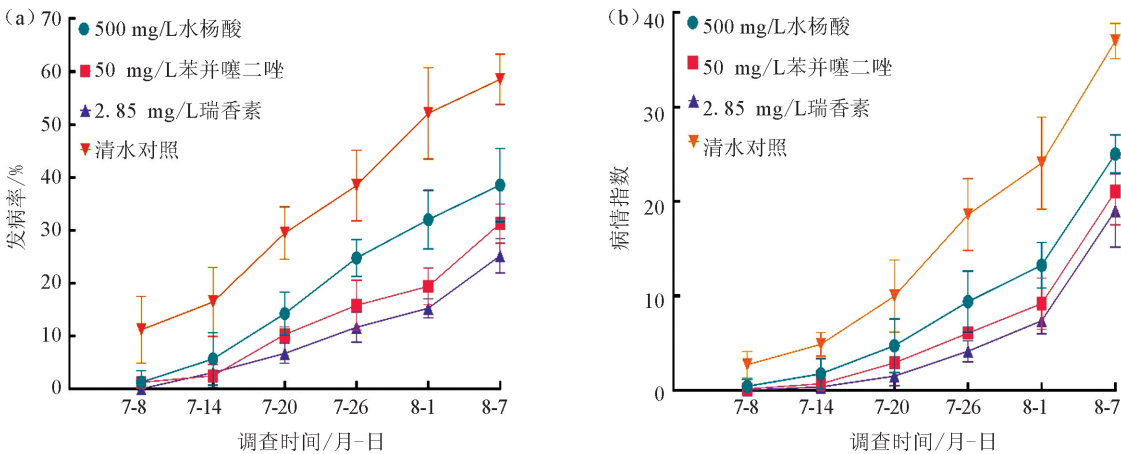
表 1 烟草打顶期农艺性状比较

处理方法	株高/cm	茎围/cm	叶片数/片	节距/cm	最大叶长/cm	最大叶宽/cm	最大叶面积/cm ²
水杨酸	110.90±0.45a	8.03±0.64a	15.40±0.00a	3.36±0.61a	78.48±0.47a	29.05±0.59a	1447.09±38.24a
苯丙噻二唑	105.32±5.48a	8.23±0.57a	15.87±0.37a	3.33±0.31a	72.76±1.93ab	28.30±2.60a	1311.92±148.53a
0.53%瑞香素 EC	108.80±0.85a	7.88±0.16a	16.47±0.41a	3.60±0.18a	73.71±0.74b	27.38±1.18a	1280.06±5.29a
清水对照	91.63±2.13b	7.18±0.12a	15.92±0.15a	3.57±0.13a	68.20±0.20c	25.34±0.20a	1096.49±38.88a

注：小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p<0.05$)。

2.4 0.53%瑞香素 EC 对烟草青枯病的田间防治效果

自 7 月 8 日田间青枯病发病较为明显开始，每隔 5~6 d 进行发病率和病情指数调查。由调查结果可知，与清水对照相比，水杨酸、苯并噻二唑和 0.53%瑞香素 EC 降低了烟草青枯病的发病率和病情指数，对烟草青枯病均有一定的诱导抗病效果，其中，诱导抗病效果从小到大排列依次为 0.53%瑞香素 EC、苯并噻二唑、水杨酸(图 3)。烟草青枯病发生初期(7 月 14 日)，0.53%瑞香素 EC 的防效高于水杨酸、苯并噻二唑，相对防效分别为 92.96%，64.12%和 85.92%。在发病中期(7 月 26 日)，水杨酸、苯并噻二唑和 0.53%瑞香素 EC 的相对防效分别为 50.80%，66.32%和 79.95%，其中，0.53%瑞香素 EC 的相对防效显著高于水杨酸处理。在发病高峰期(8 月 7 日)，3 种抗性诱导物质诱导抗性呈显著下降，平均防效均小于 50%，其中 0.53%瑞香素 EC 的相对防效为 44.33%(表 2)。抗性诱导物质在诱导烟草对青枯病的抗性程度，会随着烟株生长和病害发生程度逐渐减弱。



小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p<0.05$)。

图 3 不同处理烟草青枯病田间发病情况

表 2 不同处理烟草青枯病防治效果比较

处理方法	7 月 8 日	7 月 14 日	7 月 20 日	7 月 26 日	8 月 1 日	8 月 7 日
水杨酸	84.48±15.52a	64.12±18.98a	52.70±16.33a	50.80±7.98b	44.91±7.41a	30.49±15.45a
苯丙噻二唑	94.92±4.40a	85.92±7.45a	70.93±3.96a	66.32±2.00ab	60.81±6.70a	41.49±12.72a
0.53%瑞香素 EC	100.00±0.00a	92.96±7.46a	84.92±5.81a	76.95±3.61a	67.15±14.06a	44.33±11.35a

注：小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p<0.05$)。

3 结论与讨论

当前,防控烟草青枯病的化学药剂依然存在持效低、防治效果不显著的问题^[22],特别在烟株打顶后期,高温天气一到来(7月中下旬),随着营养物质的回流,根系分泌物有机酸类的积累,会进一步诱集青枯菌的侵染,从而加重病害.与化学杀菌剂不同,香豆素类化合物作为一种天然次生代谢产物,生物活性多样,主要包括抑菌、杀虫、诱抗等活性.其中,在抑菌活性方面,马伟虎等^[23]发现香豆素不仅能够降低胞中葡萄糖含量和保护酶活性(PPO酶、SOD酶和POD酶)来影响其代谢过程,而且还能够有效地抑制灰葡萄孢霉菌(*Botrytis cinerea*).在杀虫活性方面,高平等^[24]发现瑞香素对蚜虫(桔蚜、棉蚜和烟蚜)有很高的触杀和拒食作用,并且在田间对棉蚜有较好的防控作用.在诱抗活性方面,帅正彬等^[25]发现瑞香素能够激活植物的茉莉酸途径(JA)来增强植物的免疫系统,同时,瑞香素还能提高烟草木质素含量及烟叶防御酶活性,从而提高烟草对青枯病抗性.本研究结果表明,0.53%瑞香素EC对烟株进行叶面喷施处理,能够有效的降低烟草青枯病的发生,对青枯病具有一定的防控作用.室内的盆栽试验结果显示,0.53%瑞香素EC,0.1%S-诱抗素AS,5%氨基寡糖素AS,0.01%芸苔素内酯EC商品植物调节剂相比,具有很好的防控效果,在接种后第10d诱导抗性效果为71.66%,具有一定的持效性.瑞香素通过提高CAT酶、SOD酶、PPO酶的活性来增强植物对烟草青枯病的抗性作用.田间防效的结果显示,0.53%瑞香素EC作为一种抗性诱导物质,在病害发生早期能够有效地诱导烟草对青枯病的抗性,其中,在发病初期(7月8日),0.53%瑞香素EC对烟草青枯病的防控效果100%,在病害发生高峰期(8月7日)防控效果较为稳定,达到44.33%,这表明0.53%瑞香素EC在烟草青枯病的防控方面具有一定的应用潜能.

参考文献:

- [1] SHEN G H, ZHANG S T, LIU X J, et al. Soil Acidification Amendments Change the Rhizosphere Bacterial Community of Tobacco in a Bacterial Wilt Affected Field [J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2018, 102(22): 9781-9791.
- [2] SHE S Y, NIU J J, ZHANG C, et al. Significant Relationship between Soil Bacterial Community Structure and Incidence of Bacterial Wilt Disease under Continuous Cropping System [J]. *Archives of Microbiology*, 2017, 199(2): 267-275.
- [3] NIU J J, RANG Z W, ZHANG C, et al. The Succession Pattern of Soil Microbial Communities and Its Relationship with Tobacco Bacterial Wilt [J]. *BMC Microbiology*, 2016, 16(1): 1-10.
- [4] LI Y Y, WANG L, SUN G W, et al. Digital Gene Expression Analysis of the Response to *Ralstonia Solanacearum* between Resistant and Susceptible Tobacco Varieties [J]. *Scientific Reports*, 2021, 11: 3887.
- [5] GONZÁLEZ E T, ALLEN C. Characterization of a *Ralstonia Solanacearum* Operon Required for Polygalacturonate Degradation and Uptake of Galacturonic Acid [J]. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 2003, 16(6): 536-544.
- [6] MANSFIELD J, GENIN S, MAGORI S, et al. Top 10 Plant Pathogenic Bacteria in Molecular Plant Pathology [J]. *Molecular Plant Pathology*, 2012, 13(6): 614-629.
- [7] 何明兴, 沈亮, 邱恒良, 等. 烟草青枯病的发生及防治 [J]. *现代农业科技*, 2019(1): 111-112, 115.
- [8] 王焱, 韩松庭, 杨亮, 等. 生物有机肥对烟草青枯病防控的研究进展 [J]. *植物医生*, 2020, 33(6): 18-23.
- [9] 刘晓姣, 丁伟, 徐小洪, 等. 4种生物防治菌对烟草青枯病防治的研究进展 [J]. *植物医生*, 2013, 26(4): 46-48.

- [10] 邢敏, 费鹏, 郭鸽, 等. 植物源天然产物的抑菌作用、机理及在食品保藏中的应用 [J]. 核农学报, 2021, 35(8): 1875-1882.
- [11] 刘瑾林, 周红, 郭富友, 等. 香豆素类化合物的农药活性及东莨菪内酯杀螨作用机理研究进展 [J]. 农药学报, 2019, 21(S1): 692-708.
- [12] 李敏. 水溶性羧甲基壳聚糖-姜黄素纳米材料联合 PACT 对 *S. aureus* 和 MDR *S. aureus* 杀菌效果及机制探究 [D]. 西安: 陕西师范大学.
- [13] STASSEN M J J, HSU S H, PIETERSE C M J, et al. Coumarin Communication along the Microbiome-Root-Shoot Axis [J]. Trends in Plant Science, 2021, 26(2): 169-183.
- [14] 杨亮. 羟基香豆素类化合物对青枯雷尔氏菌致病特性的调控作用研究 [D]. 重庆: 西南大学.
- [15] LV H M, FAN X Y, WANG L D, et al. Daphnetin Alleviates Lipopolysaccharide/d-Galactosamine-Induced Acute Liver Failure via the Inhibition of NLRP3, MAPK and NF- κ B, and the Induction of Autophagy [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 119: 240-248.
- [16] ZHANG L N, GU Y, LI H W, et al. Daphnetin Protects Against Cisplatin-Induced Nephrotoxicity by Inhibiting Inflammatory and Oxidative Response [J]. International Immunopharmacology, 2018, 65: 402-407.
- [17] SÁNCHEZ-RECILLAS A, NAVARRETE-VÁZQUEZ G, HIDALGO-FIGUEROA S, et al. Semisynthesis, ex Vivo Evaluation, and SAR Studies of Coumarin Derivatives as Potential Antiasthmatic Drugs [J]. European Journal of Medicinal Chemistry, 2014, 77: 400-408.
- [18] 郑茂, 邹玉, 傅颖媛. 瑞香素药理作用的研究进展 [J]. 中成药, 2017, 39(4): 790-794.
- [19] YANG L, WU L T, YAO X Y, et al. Hydroxycoumarins: New, Effective Plant-Derived Compounds Reduce *Ralstonia Pseudosolanacearum* Populations and Control Tobacco Bacterial Wilt [J]. Microbiological Research, 2018, 215: 15-21.
- [20] YANG L A, DING W, XU Y Q, et al. New Insights into the Antibacterial Activity of Hydroxycoumarins Against *Ralstonia Solanacearum* [J]. Molecules, 2016, 21(4): 468.
- [21] 韩松庭. 瑞香素诱导烟草对青枯病的抗性及其作用机理研究 [D]. 重庆: 西南大学.
- [22] 王焱, 黄纯杨, 杨亮, 等. 烟草青枯病复配增效药剂筛选及田间防效 [J]. 农药, 2022, 61(10): 776-780.
- [23] 马伟虎, 程红刚, 耿楠楠, 等. 香豆素对灰葡萄孢霉菌的生长代谢及保护酶活性的影响 [J]. 西北林学院学报, 2020, 35(5): 134-138.
- [24] 高平, 刘世贵, 侯太平, 等. 瑞香素对蚜虫生物活性的研究 [J]. 植物保护学报, 2001, 28(3): 265-268.
- [25] 帅正彬, 胡慧敏, 柴丹, 等. 植物诱抗剂的应用研究进展 [J]. 四川农业科技, 2020(9): 35-37, 48.

责任编辑 苏荣艳