

不同茄子对瓜蓟马的抗性研究

郭一博¹, 陈悠扬¹, 郭思乐¹, 杜威¹, 杨炳南¹,
林境睿¹, 杨荣超¹, 吴正伟¹, 肖熙鸥²

(1. 广东海洋大学滨海农业学院 广东湛江 524088; 2. 中国热带农业科学院亚热带作物研究所 广东湛江 524091)

摘要: 为筛选出对瓜蓟马具有抗性的茄子材料, 并探究抗感材料间部分代谢产物的差异, 以 101 份茄子材料为试验材料, 采用叶片为害指数法与盆栽虫口密度法进行筛选, 并测定了抗虫与感虫材料叶片中可溶性糖、游离脯氨酸、可溶性蛋白、类黄酮和总酚含量。结果表明, 泽农 A7(556007)、37 号紫红(501011)、阳兴十一(327031)、烧烤短棒(403026)、早糯茄 1 号(003022)为抗瓜蓟马材料, 虫情指数分别为 40.21%、38.36%、39.47%、42.89%、40.01%。测定发现, 感虫材料叶片中类黄酮和总酚的平均含量均显著高于抗虫材料, 可溶性糖、游离脯氨酸和可溶性蛋白的平均含量在抗、感材料间差异不显著。为害指数最低的材料泽农 A7(556007), 其叶片中的类黄酮含量最低; 为害指数最高的材料紫艳(626001), 其叶片中的类黄酮和总酚含量均较高。综上, 筛选出了 5 份抗瓜蓟马的茄子材料并揭示了叶片中的可溶性糖、类黄酮和总酚含量等的特点, 这些研究可为抗蓟马茄子材料的进一步选育奠定理论基础。

关键词: 茄子; 瓜蓟马; 抗性; 代谢产物

中图分类号: S641.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2024)11-158-07

Research on the resistance of different eggplant germplasm resources to *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae)

GUO Yibo¹, CHEN Youyang¹, GUO Sile¹, DU Wei¹, YANG Bingnan¹, LIN Jingrui¹, YANG Rongchao¹, WU Zhengwei¹, XIAO Xi'ou²

(1. College of Coastal Agricultural Sciences, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, Guangdong, China; 2. South Subtropical Crop Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Zhanjiang 524091, Guangdong, China)

Abstract: In order to identify eggplant varieties with resistance to melon thrips and compare the differences between resistant and susceptible varieties, 101 eggplant germplasm resources were evaluated using the leaf infestation index method and potting population density method in this experiment. The content of soluble sugar, free proline, soluble protein, flavonoids and total phenol in the leaves of both insect-resistant and insect-sensitive varieties were analyzed. The results indicated that the 556007, 501011, 327031, 403026, and 003022 varieties exhibited high resistance to melon thrips with pest indexes of 40.21%, 38.36%, 39.47%, 42.89% and 40.01%, respectively. Flavonoid and total phenol content in leaves of insect-sensitive varieties were significantly higher than those of insect-resistant varieties, while the differences in average content of soluble sugar, free proline, and soluble protein between insect-resistant and insect-sensitive varieties were not significant. The variety Zenong A7(556007) with the lowest infestation index exhibited the lowest flavonoid content in its leaves, whereas the variety Ziyang (626001) with the highest infestation index demonstrated high levels of flavonoid and has elucidated the characteristics of soluble sugars, flavonoids, and total phenols in their leaves. These findings can provide a theoretical basis for further selection and breeding of thrips-resistant eggplant varieties.

Key words: Eggplant; Melon thrips; Insect resistance; Metabolites

收稿日期: 2024-06-03; 修回日期: 2024-06-24

基金项目: 国家自然科学基金委员会专项项目(M2342003); 广东省大学生创新创业训练计划项目(S202310566031)

作者简介: 郭一博, 男, 在读本科生, 研究方向为作物逆境生物学。E-mail: gyb3824@163.com

通信作者: 吴正伟, 男, 讲师, 研究方向为农业昆虫与害虫防治。E-mail: zhengwei_wu@gdou.edu.cn

肖熙鸥, 男, 副研究员, 研究方向为蔬菜育种及生物技术。E-mail: xiao-forlearning@163.com

茄子为茄科茄属作物,是我国主要的蔬菜种类之一,在农业生产中占有重要地位。我国茄子的栽培历史悠久,栽培的品种类型繁多,据统计,2021年我国茄子栽培面积将近80万hm²,且随着国内经济的发展,茄子种植面积也在逐年增加^[1]。瓜蓟马又称棕榈蓟马(*Thrips palmi* Karny),首次于20世纪70年代在我国南部省份被发现,并在过去的50年中逐渐向北传播^[2-3]。到2023年,瓜蓟马已列入我国一类农作物病虫害名录,是蔬菜蓟马中常见的一种。瓜蓟马不仅可以对农作物造成直接危害,还能传播多种病毒,近年来危害呈上升趋势,已成为温室蔬菜中危害最为严重的害虫之一^[4-5]。瓜蓟马也是我国茄子上的重要害虫之一,随着保护地种植面积的扩大,其已成为我国多地蔬菜上主要的微型害虫,且在茄子上的发生危害日益严重^[6]。长期以来,茄子上瓜蓟马的防治主要靠化学防治手段,目前,瓜蓟马已对拟除虫菊酯、DDT和茚虫威等多种化学药剂产生了不同的抗药性^[5-7]。

抗虫品种的筛选和应用是害虫绿色防控的重要手段,近年来选用抗性品种防控瓜蓟马越来越受到人们的关注,并在作物品种对瓜蓟马抗性机制方面开展了较多研究,如瓜蓟马对不同黄瓜品种代谢产物的影响^[8],瓜类作物的营养成分与瓜类抗瓜蓟

马特性的相关性分析^[9]等。然而,关于茄子抗瓜蓟马的研究却没有相关报道。笔者以101种茄子植株为研究对象,通过分析茄子叶片中的重要生化物质与其抗瓜蓟马的相关性,探讨茄子材料对瓜蓟马的抗性机制,为茄子瓜蓟马的绿色防控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验茄子材料共101份,为中国热带农业科学院南亚热带作物研究所收集和保存的种质资源。

1.2 抗虫材料筛选

于2023年3月将101个材料的茄子同期播种于育苗盘中,每穴2粒种子,每份材料24穴。将育苗盘置于发生过瓜蓟马危害的温室里,1个月后调查茄子苗期的虫情。统计每株的叶片总数和受瓜蓟马危害的叶片数并对每片叶子受害情况进行分级,受害症状共分6级^[10],每株苗受害的严重度(虫害叶百分率)也分6级^[11](表1),最后计算为害指数和虫情指数。根据为害指数将101份茄子材料按降序排列,选出前10种与后10种,再根据虫情指数与茄子植株生长状况淘汰掉长势较差的材料,初步筛选出9份抗虫和7份感虫材料。

表1 严重度分级标准和为害指数分级标准

Table 1 Severity classification criteria and pest attack index classification criteria

严重度等级 Severity level	严重度 Severity/%	受害叶分级 Grading of infested leaves	受害症状 Symptoms of thrips infestation
0	0	0	叶片绿色,无任何蓟马危害虫伤 The leaves are free from thrips infestation and exhibit a healthy green coloration
1	1~9	1	叶片绿色,有个别虫伤斑点 The leaves are green with a few spots of thrips damage
2	10~29	2	叶片绿色,有明显虫伤,褪色斑面积达到叶片总面积的1/5或有局部扭曲 The leaves are green with obvious insect damage, and the faded spots cover 1/5 of the total leaf area or cause local distortion
3	30~49	3	叶片褪色面积大于叶片总面积的1/2 The fading area of the leaves is more than half of the total leaf area
4	50~69	4	叶片总面积的3/4以上部分褪绿发黄或发白 More than 3/4 of the total leaf area is chlorotic, turning yellow or white
5	70~100	5	叶片全部枯黄或全部卷曲发白 All leaves are either yellow or curled and white

从初步筛选出的9个抗虫材料与7个感虫材料中,挑选生长状况良好的幼苗定植在15cm口径的花盆中,每份材料9~12株,随后使用吡虫啉、氟氯氰菊酯等杀虫剂清除定植苗上的瓜蓟马。待茄子生长至开花前期再次进行虫情调查,统计方法同上,第2次筛选以虫情指数小于50%作为抗虫材料,大

于75%作为感虫材料^[12]。

为害指数/%=[\sum (受害级叶片数×受害级代表值)/(调查总叶片数×受害最高级值)]×100;

虫情指数/%=($a_0X_0+a_1X_1+\dots+a_nX_n$)/ nT ×100,式中 a_0 、 a_1 、 \dots 、 a_n 表示虫情等级(严重度等级), X_0 、 X_1 、 \dots 、 X_n 表示各级虫情的频率, n 为最高的虫情等

级, T 为调查总株数。

1.3 指标测定及方法

1.3.1 可溶性糖含量的测定 供试材料取样:取一株测定材料中间部位的叶片,清洗掉表面杂物后用吸水纸擦干,使用打孔器在茄子植株中间部位的叶片上均匀取样,避开叶脉部位,为1份试样,共取3份。除需烘干后测定的指标外,测定时间控制在采摘后1h内。

采用植物可溶性糖含量试剂盒(上海晶抗生物工程有限公司),通过分光光度计(UV-5100B)测定在620 nm处的OD值。获得标准曲线为 $y = 8.55x - 0.07$, $R^2 = 0.9986$ 。式中, x 为标准品质量浓度($\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$), y 为吸光值。

可溶性糖含量/ $(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 鲜质量) = $[(\Delta A + 0.07) / 8.55 \times V1] / (W \times V1 / V2)$ 。

式中: $V1$ 为加入样本体积(0.2 mL), $V2$ 为加入提取液体积(10 mL), W 为样本鲜质量(g), ΔA 为测定管与空白管吸光值之差。

1.3.2 可溶性蛋白含量的测定 采用植物可溶性蛋白 ELISA 试剂盒(上海晶抗生物工程有限公司)。通过酶标仪(800/TS)测定在450 nm处的OD值。在微孔酶标板的标准品孔加50 μL 标准液,样本孔加10 μL 样本和40 μL 样本稀释液,除空白孔外,标准品孔和样品孔中每孔加入辣根过氧化氢酶(HRP)标记的检测抗体100 μL ,用封板膜封住反应孔,37 $^{\circ}\text{C}$ 水浴锅温育60 min。弃去液体,在吸水纸上拍干,每孔加满洗涤液,静置1 min,甩去洗涤液,在吸水纸上拍干,重复洗板5次。每孔加入底物A、B各50 μL ,37 $^{\circ}\text{C}$ 避光孵育15 min后每孔加入终止液50 μL ,15 min内,在450 nm波长处测定各孔的OD值。

1.3.3 游离脯氨酸含量的测定 采用植物组织游离脯氨酸含量试剂盒(上海晶抗生物工程有限公司)。称取0.2 g茄子叶片,加入2.4 mL试剂一,震荡提取3 h,随后8000 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$,4 $^{\circ}\text{C}$ 离心10 min,取上清液为待测液。测定管:取待测液1 mL,加入0.5 mL试剂三,充分振荡5 min,室温静置5 min,取上层清液0.8 mL于1 mL玻璃比色皿,测定吸光值为A。对照管:取待测液1 mL,加入0.5 mL试剂二,充分震荡5 min,室温静置5 min,取上层清液0.8 mL于1 mL玻璃比色皿,调零。对照管每个样品各测定1次。

标准曲线为: $y = 0.0075x + 0.0055$, $R^2 = 0.994$ 。

游离脯氨酸含量($\text{nmol} \cdot \text{g}^{-1}$ 鲜质量) =

$[(A - 0.0055) / 0.0075 \times V1] / (V1 / V2 \times W)$, 式中, $V1$ 为加入样本液体积(1 mL), $V2$ 为提取液体积(2.4 mL), W 为样品鲜质量(g)。

1.3.4 类黄酮化合物含量的测定 采用植物类黄酮含量试剂盒(上海晶抗生物工程有限公司)。

标准曲线为: $y = 5.02x + 0.0007$, $R^2 = 0.9996$ 。

类黄酮含量($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) = $(\Delta A - 0.0007) / 5.02 / (W / V$ 样总), 式中: V 样总为加入提取液体积(2 mL), W 为样品干质量(g), ΔA 为测定管与空白管吸光值之差。

1.3.5 酚类化合物含量的测定 采用植物总酚含量试剂盒(上海晶抗生物工程有限公司)。测得标准曲线为 $y = 5.615x + 0.0012$, $R^2 = 0.9994$, 式中, x 为标准品质量浓度($\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$), y 为吸光值。

总酚含量($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) = $(\Delta A - 0.0012) / 5.615 \times V$ 样/ $(V$ 样/ V 样总 $\times W)$, 式中: V 样总为加入提取液体积(2 mL), V 样为反应中样品体积(0.05 mL), W 为样本干质量(g), ΔA 为测定管与空白管吸光值之差。

1.4 数据分析

利用SPSS 25对试验数据进行统计分析,各个茄子材料之间的代谢产物含量通过ANOVA进行差异显著性分析,采用Duncan法进行比较。抗虫与感虫之间采用独立样本的 t 测验进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 抗性材料筛选结果

通过苗期调查获得每份茄子材料的为害指数和虫情指数,然后先根据为害指数的高低,再根据虫情指数的高低顺序筛选出相对感虫和抗虫材料,初步筛选出9份相对抗虫材料与7份相对感虫材料(图1~2)。抗虫材料编号:403026、501011、327031、556007、003022、305001、522003、320004、516007。感虫材料编号:626001、305015、522004、305017、048008、522010、048007。

针对初筛材料的二次筛选,综合虫情指数(小于50%为抗性材料)和为害指数的高低筛选出感虫材料和抗虫材料各5份(表2)。抗虫材料:泽农A7(556007)、37号紫红(501011)、阳兴十一(327031)、烧烤短棒(403026)、早糯茄1号(003022),感虫材料:苏茄801(048008)、泽农104(522004)、黑神(305017)、紫艳(626001)、三木2034(305015)。抗虫材料叶片绿色,无明显虫斑,叶片伸展,长势较好。感虫材料则叶片褪绿发黄或发白,有明显虫斑,植株矮小,长势较差。

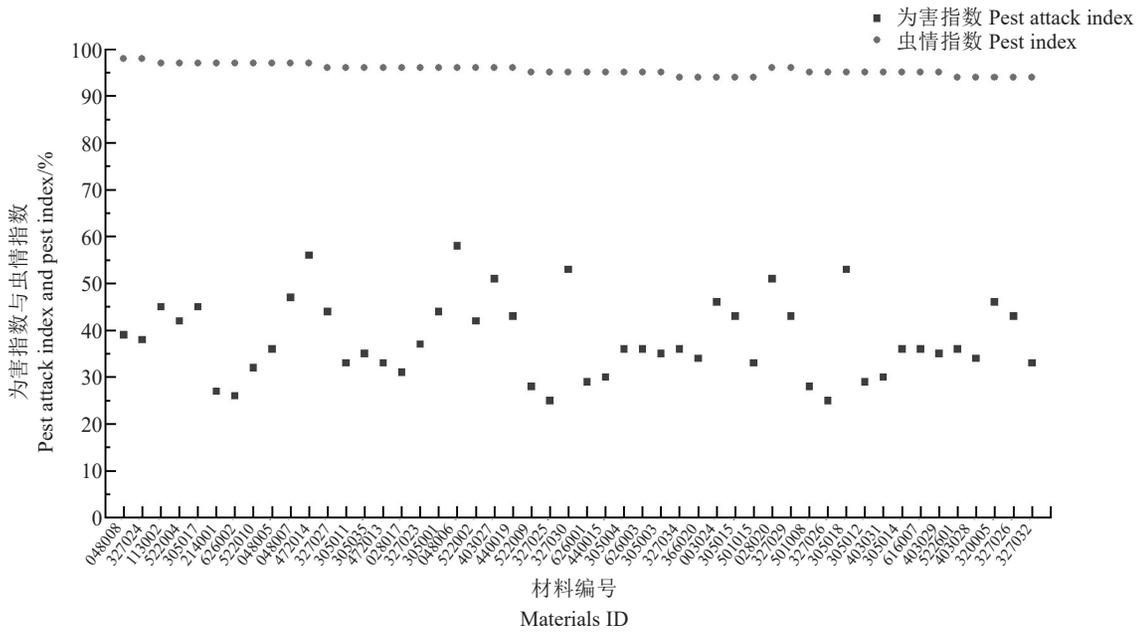


图1 1~50个材料的为害指数与虫情指数
 Fig. 1 Infestation index and pest index of materials 1-50

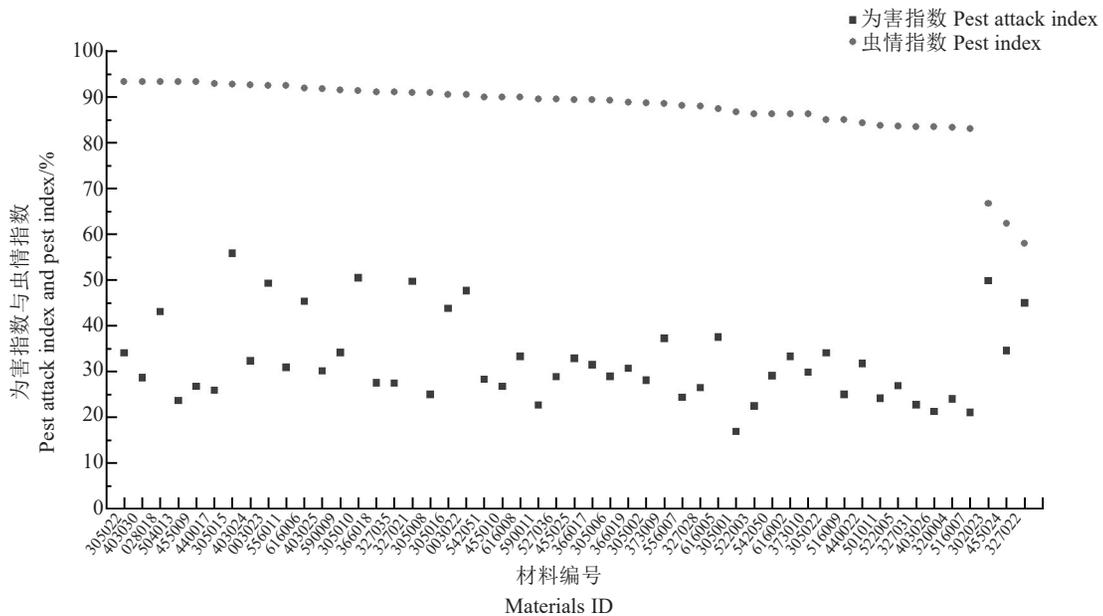


图2 51~101个材料的为害指数与虫情指数
 Fig. 2 Infestation index and pest attack index of materials 51-101

2.2 不同材料茄子叶片可溶性糖含量

茄子叶片可溶性糖含量在材料间存在一定差异(图3),其中感虫材料305015的可溶性糖含量(w,后同)最高(6.45 mg·g⁻¹),抗虫材料501011最低(2.72 mg·g⁻¹),前者为后者的2.37倍。对5份抗虫材料和5份感虫材料整体比较,发现感虫材料叶片的可溶性糖含量整体高于抗虫材料,但除了305015之外,2个群体之间差异并不显著。

2.3 不同品种茄子叶片可溶性蛋白含量

茄子叶片中可溶性蛋白含量在材料间存在一

定差异(图4),其中感虫材料626001叶片的可溶性蛋白含量(ρ ,后同)最高(85.59 ng·mL⁻¹),抗虫材料003022叶片中的可溶性蛋白含量最低(13.44 ng·mL⁻¹),前者为后者的6.37倍。可溶性蛋白含量在抗虫和感虫材料中并不规律,但感虫材料可溶性蛋白含量的均值低于抗虫材料。对抗虫材料和感虫材料整体进行差异显著性分析,表明抗虫和感虫材料可溶性蛋白含量差异不显著。

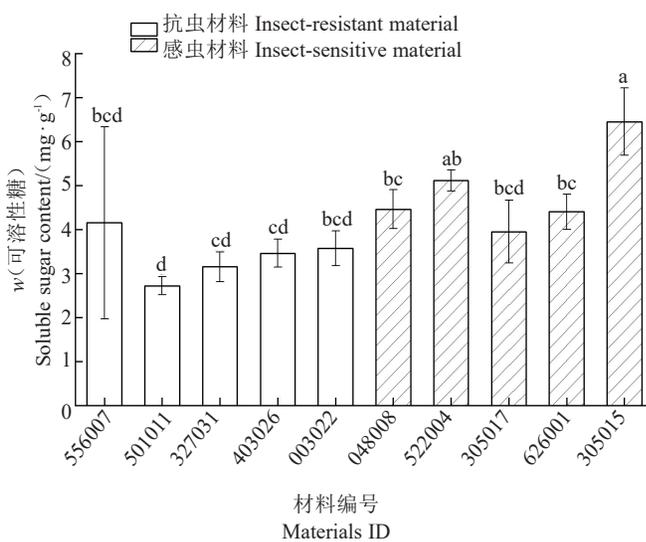
2.4 不同材料茄子叶片游离脯氨酸含量

感虫材料305015叶片的游离脯氨酸含量最高

表2 抗虫与感虫品种的为害指数、虫情指数及品种信息

Table 2 Pest attack index, pest index and variety information of insect-resistant and insect-sensitive varieties

品种编号 Variety No.	虫情指数 Pest index/%	为害指数 Infestation index/%	抗性鉴定结果 Results of resistance characterization	品种来源 Variety origin	品种名称 Variety name	茄型特征 Eggplant type characteristic
556007	40.21	20.10	抗虫 Insect-resistant	北京泽农伟业农业科技有限公司 Beijing Zenong Weiye Agricultural Technology Co., LTD	泽农 A7 Zenong A7	紫红茄 Solanum purpurea
003022	40.01	20.22	抗虫 Insect-resistant	湖南兴蔬种业有限公司 Hunan Xingshu Seed Industry Co., LTD	早糯茄 1 号 Zaonuoqie No. 1	圆茄 Round eggplant
501011	38.36	21.13	抗虫 Insect-resistant	广州金籽农业科技有限公司 Guangzhou Golden Seed Agricultural Technology Co., LTD	37 号紫红 Zihong 37	中茄 Medium eggplant
403026	42.89	22.87	抗虫 Insect-resistant	连州市丰裕农业科技有限公司 Lianzhou Fengyu Agricultural Technology Co., LTD	烧烤短棒 Shaokaoduanbang	紫红茄 Solanum purpurea
327031	39.47	24.97	抗虫 Insect-resistant	广州阳兴农业科技有限公司 Guangzhou Yangxing Agricultural Technology Co., LTD	阳兴十一 Yangxing 11	紫红茄 Solanum purpurea
048008	99.62	52.73	感虫 Insect-sensitive	江苏省农业科学院 Jiangsu Academy of Agricultural Sciences	苏茄 801 Suqie 801	绿茄 Solanum verde
305017	98.32	54.41	感虫 Insect-sensitive	山东省寿光市三木种苗有限公司 Shandong Province Shouguang City Sanmu Seedling Co., LTD	黑神 Heishen	黑茄 Black eggplant
305015	99.44	56.54	感虫 Insect-sensitive	山东省寿光市三木种苗有限公司 Shandong Province Shouguang City Sanmu Seedling Co., LTD	三木 2034 Sanmu 2034	长茄 Solanum japonicum
522004	99.08	59.26	感虫 Insect-sensitive	北京泽农伟业农业科技有限公司 Beijing Zenong Weiye Agricultural Technology Co., LTD	泽农 104 Zenong 104	紫黑茄 Black solanum
626001	100.00	60.66	感虫 Insect-sensitive	武汉宏达种苗有限公司 Wuhan Hongda Seedling Co., LTD	紫艳 Ziyan	紫茄 Aubergine



注:不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

图3 不同茄子材料叶片可溶性糖含量

Fig. 3 Soluble sugar content in the leaves of different eggplant materials

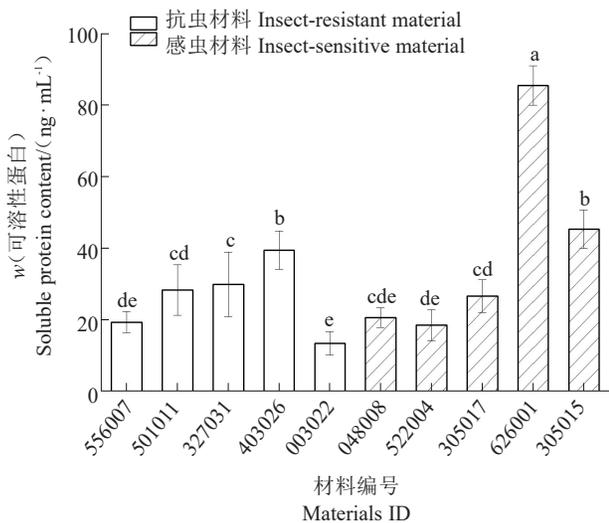


图4 不同茄子材料叶片可溶性蛋白含量

Fig. 4 Soluble protein content in the leaves of different eggplant materials

(59.90 nmol·g⁻¹),其次为抗虫材料 556007(图 5),但两者差异不显著。另外,两者均显著高于其他材料,其他材料间差异不显著。

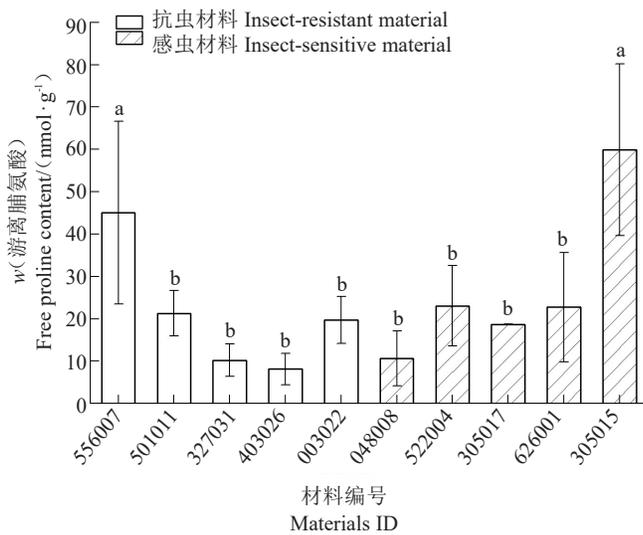


图 5 不同茄子材料叶片游离脯氨酸含量

Fig. 5 Free proline content in the leaves of different eggplant materials

2.5 不同材料茄子叶片类黄酮含量

茄子叶片类黄酮含量在材料间存在一定差异(图 6)。其中,感虫材料 305015 类黄酮含量最高(18.42 mg·g⁻¹),除 305017 外,感虫材料之间差异不显著但均显著高于抗虫材料。

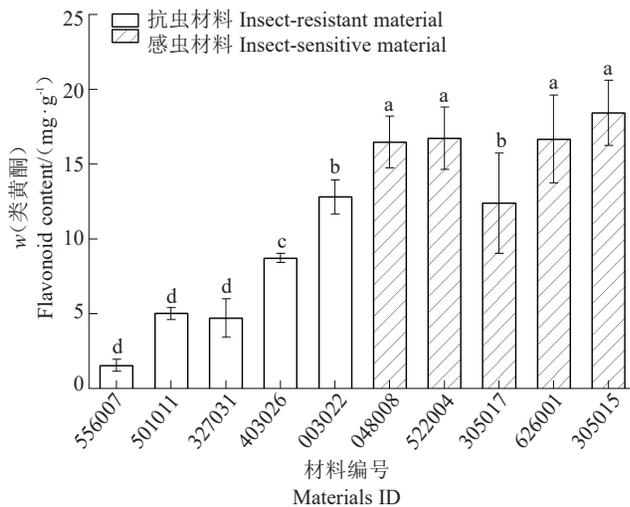


图 6 不同茄子品种叶片类黄酮含量

Fig. 6 Flavonoid content in the leaves of different eggplant materials

2.6 不同材料茄子叶片总酚含量

感虫材料 305017 和 626001 叶片总酚含量显著高于其他材料(图 7),感虫材料叶片中的总酚含量整体高于抗虫材料,总酚含量最低的材料分别为 556007 和 327031。

3 讨论与结论

虫情指数是衡量植物抗虫性的重要指标。研

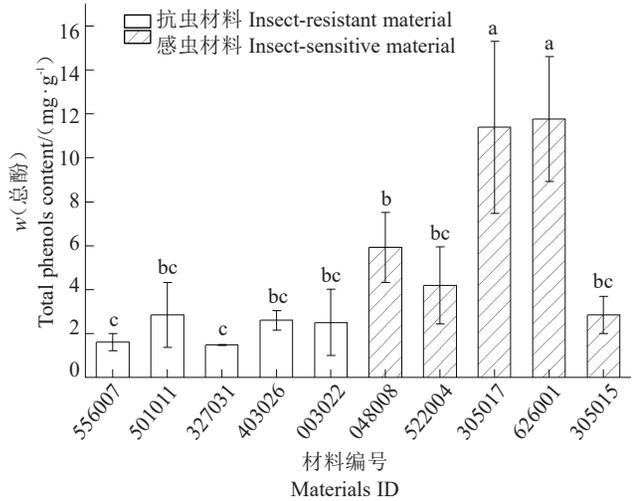


图 7 不同茄子材料叶片总酚含量

Fig. 7 Total phenols content in the leaves of different eggplant materials

究表明,虫情指数在 50.00%以下的植物品种具有较强的抗虫性^[13]。本研究结果表明,泽农 A7(556007)、37 号紫红(501011)、阳兴十一(327031)、烧烤短棒(403026)、早糯茄 1 号(003022)的虫情指数分别为 40.21%、38.36%、39.47%、42.89%、40.01%,与其他材料相比具有较强的抗虫性,其中有 3 种均为紫红茄,另外 2 种分别为圆茄和中茄。

为抵御植食性昆虫的危害,植物在长期的协同进化中已经形成了一套完整的防御系统,以便应对各种植食性昆虫的攻击^[14]。寄主植物中的可溶性糖、可溶性蛋白和游离脯氨酸是昆虫所需的重要营养物质,而类黄酮和酚类是重要的抗生物质,这些物质对昆虫的生长发育影响较大^[15-18]。本研究结果表明,瓜蓟马取食后,感虫茄子叶片中的类黄酮和总酚含量整体显著高于抗虫材料,但抗虫与感虫材料之间可溶性糖、可溶性蛋白和游离脯氨酸含量差异不显著。本研究中抗虫材料的可溶性糖含量整体低于感虫材料,这与相关研究^[19-21]中的可溶性糖含量对作物的抗虫性有影响相符。感虫材料紫艳(626001)的可溶性蛋白含量显著高于抗虫材料,与先前研究中发现的一些抗虫植物材料中的蛋白质含量通常低于感虫品种^[22]相符。植物中的游离脯氨酸对植物的抗生性具有重要作用,病虫害后常诱导游离脯氨酸含量大幅度升高^[23-25],笔者的研究结果表明,感虫品种中的游离脯氨酸含量均值高于抗虫材料,但差异不显著,或是因为在危害后期感虫材料中的游离脯氨酸含量有所降低。瓜蓟马危害后,感虫茄子材料叶片中的酚类和类黄酮含量显著高于抗虫材料,为害指数最低的材料泽农 A7

(556007),其叶片中的类黄酮含量最低;为害指数最高的材料紫艳(626001),其叶片中的类黄酮和总酚含量均较高。周福才等^[26]研究发现,瓜蚜取食后会诱导黄瓜体内酚类和黄酮化合物含量上升,赵亚楠等^[27]的研究发现,昆虫取食可以显著诱导取食点处类黄酮物质的表达上调,本试验结果中感虫材料叶片的酚类和类黄酮含量较高或许是因为受瓜蓟马取食诱导的结果。

抗性品种的筛选是抗性育种选择材料的重要基础,是绿色防控的基本保障^[28]。笔者初步筛选出了对瓜蓟马具有抗虫性的茄子材料并比较了抗感材料间叶片中5种代谢物的含量特点,而对瓜蓟马危害前后抗感材料茄子叶片内容物的动态变化尚未深入研究。另外,与植物抗虫性有关的代谢物还有木质素、单宁和防御酶等,其含量对茄子抗虫性的影响有待进一步研究。通过抗虫特性研究,可以为培育抗虫茄子材料和利用材料抗虫性控制害虫提供理论依据。

参考文献

- [1] 李倩,汪端华,吴双花,等.茄子新品种早红茄2号的选育[J].中国瓜菜,2024,37(9):179-182.
- [2] CAO L J, GAO Y F, GONG Y J, et al. Population analysis reveals genetic structure of an invasive agricultural thrips pest related to invasion of greenhouses and suitable climatic space[J]. Evolutionary Applications, 2019, 12(10): 1868-1880.
- [3] GAO Y F, GONG Y J, CAO L J, et al. Geographical and interspecific variation in susceptibility of three common thrips species to the insecticide, spinetoram[J]. Journal of Pest Science, 2021, 94(1): 93-99.
- [4] 张蓓蓓,何海芳,张泽龙,等.蓟马传播的瓜菜病毒病及其防控研究进展[J].中国瓜菜,2021,34(6):1-10.
- [5] 高勇富,虞国跃.瓜蓟马的识别与防治[J].蔬菜,2022(6):82-85.
- [6] 刘永春,杨绍丽,望勇,等.湖北蔬菜微小型害虫棕榈蓟马的鉴别与防治[J].长江蔬菜,2023(5):56-58.
- [7] 袁琳琳,李芬,潘雪莲,等.外来入侵害虫棕榈蓟马的研究进展[J].热带生物学报,2021,12(1):132-138.
- [8] 陈泉亨.不同黄瓜品种对棕榈蓟马抗性机理初探[D].南宁:广西大学,2016.
- [9] 吴密,郭炳焱,陈泉亨,等.瓜类作物营养成分与瓜类抗棕榈蓟马特性的相关性分析[J].南方农业学报,2018,49(9):1776-1781.
- [10] 刘慧洁,特木尔布和,张志强,等.蓟马取食对2种苜蓿抗虫酶活性的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2023,51(7):12-18.
- [11] 王茜.牛角花齿蓟马危害对不同苜蓿品种生长的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2008.
- [12] 范晓琪.玉米品种的抗虫性鉴定与玉米田节肢动物群落特征研究[D].山东泰安:山东农业大学,2020.
- [13] 吴永敷,薇玲,赵秀华,等.苜蓿对蓟马的抗源筛选试验[J].中国草地,1990(5):61-63.
- [14] AUSUBEL F M. Are innate immune signaling pathways in plants and animals conserved[J]. Nature Immunology, 2005, 6(10):973-979.
- [15] 苟长青,孙鹏,刘端春,等.牧草盲蝽危害对寄主植物体内营养物质含量及保护酶活性的影响[J].昆虫学报,2018,61(8):976-983.
- [16] MCAUSLANE H J, ALBORN H T. Influence of previous herbivory on behavior and development of *Spodoptera exigua* larvae on glanded and glandless cotton[J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2000, 97(3): 283-291.
- [17] 李定银,侯晓琳,郅军锐,等.西花蓟马取食蚕豆植株后体内营养物质变化[J].西南农业学报,2022,35(2):393-396.
- [18] SIMMONDS M S J. Flavonoid - insect interactions: Recent advances in our knowledge[J]. Phytochemistry, 2003, 64(1): 21-30.
- [19] 胡大星,李成,吴碧球,等.褐飞虱危害对不同抗性水稻品种苗期根系几种营养物质和总酚含量的影响[J].环境昆虫学报,2021,43(2):413-419.
- [20] 鲍宗平.不同玉米品种对玉米蚜抗性评价研究[J].江西农业学报,2023,35(10):65-73.
- [21] 张冰冰,叶艳英,洪霖,等.芦笋对烟粉虱的抗性品种筛选及抗性机制研究[J].植物保护,2024,50(1):183-194.
- [22] 周福才,陆自强,陈丽芳,等.小麦品种对禾谷缢管蚜的抗性机理研究[J].江苏农学院学报,1997,18(4):53-56.
- [23] 刘旭明,杨奇华.游离脯氨酸在棉花品种抗蚜性中的作用[J].北京农业大学学报,1991(3):77-80.
- [24] 芦屹,王惠卿,王佩玲,等.新疆不同棉花品种游离脯氨酸与抗蚜性的关系[J].植物保护,2013,39(3):22-25.
- [25] CIEPIELA A P, SEMPRUCH C, CHRZANOWSKI G, et al. Evaluation of natural resistance of winter triticale cultivars to grain aphid using food coefficients[J]. Journal of Applied Entomology- Zeitschrift Fur Angewandte Entomologie, 1999, 123(8):491-494.
- [26] 周福才,任佳,陈学好,等.瓜蚜取食对黄瓜叶片中抗生物质的影响[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2014,35(4):99-103.
- [27] 赵亚楠,孙天骅,王利峰,等.油松抗性相关激素与代谢物对油松毛虫取食与修剪刺激的响应[J].南京林业大学学报(自然科学版),2024,48(1):219-226.
- [28] 金永玲,刘吉利,王丽艳,等.13个红小豆品种对红叶蚜抗性筛选及评价方法[J].环境昆虫学报,2024,46(1):253-260.