

引用格式: 宋召丽, 廖园, 柳志勇, 等. 菊属及近缘属抗西花蓟马种质资源筛选[J]. 浙江农林大学学报, 2025, 42(5): 967–974.
SONG Zhaoli, LIAO Yuan, LIU Zhiyong, et al. Screening of germplasm resources for resistance to *Frankliniella occidentalis* in *Chrysanthemum* and related genera[J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2025, 42(5): 967–974.

菊属及近缘属抗西花蓟马种质资源筛选

宋召丽^{1,2}, 廖园^{1,2}, 柳志勇^{1,2}, 王海滨^{1,2}, 房伟民^{1,2}, 陈发棣^{1,2}, 王振兴^{1,2}

(1. 南京农业大学园艺学院, 江苏南京 211800; 2. 南京农业大学国家南方草本花卉种质资源圃, 江苏南京 211800)

摘要: 【目的】通过离体接种实验体系, 系统评价 31 份菊属 *Chrysanthemum* 及芙蓉菊属 *Crossostephium* 等近缘属野生种质对西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 的抗性特征。【方法】采用离体叶片选择法, 定量测定西花蓟马成虫 24 h 内的趋避行为, 并测定叶片分泌型腺毛、T 型腺毛密度。【结果】通过数量分级将接种后西花蓟马种群数量划分为高抗、中抗、低抗、易感和高感 5 个抗性等级, 其中达摩菊 *Aster spathulifolius*、芙蓉菊 *Crossostephium chinense*、岩菊 *Chrysanthemum zawadskii* 和若狭滨菊 *Chrysanthemum makinoi* 等 4 个种质表现出显著抗性, 菊花脑 *Chrysanthemum nankingense* 和花砑菊 *Ajania × marginatum* 则呈现高度敏感性。皮尔逊相关性分析显示: 叶片近轴面分泌型腺毛密度与西花蓟马种群数量呈显著负相关 ($P < 0.05$), 表明该类腺毛可能通过分泌萜烯类次生代谢物发挥驱避作用。【结论】明确了叶片形态抗性指标与西花蓟马趋避行为的内在联系, 为解析菊花抗蓟马分子机制提供了表型组学依据。图 5 表 2 参 28

关键词: 菊属植物; 西花蓟马; 腺毛; 抗性; 种质资源评价鉴定

中图分类号: S68 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2025)05-0967-08

Screening of germplasm resources for resistance to *Frankliniella occidentalis* in *Chrysanthemum* and related genera

SONG Zhaoli^{1,2}, LIAO Yuan^{1,2}, LIU Zhiyong^{1,2}, WANG Haibin^{1,2}, FANG Weimin^{1,2},
CHEN Fadi^{1,2}, WANG Zhenxing^{1,2}

(1. College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 211800, Jiangsu, China; 2. National Southern Herbaceous Flower Germplasm Resources Nursery, Nanjing Agricultural University, Nanjing 211800, Jiangsu, China)

Abstract: [Objective] The objective is to systematically evaluate the resistance characteristics of 31 wild germplasm resources from *Chrysanthemum* and its related genera such as *Crossostephium* to *Frankliniella occidentalis* through an in vitro inoculation experimental system. [Method] The detached leaf selection method was employed to quantitatively measure the avoidance behavior of adult thrips within 24 hours, as well as to determine the density of secretory glandular trichomes and T-shaped glandular trichomes on leaves. [Result] The population size of *F. occidentalis* after inoculation was classified into five resistance grades (highly resistant, moderately resistant, lowly resistant, susceptible, and highly susceptible) through quantitative grading, among which four species, namely *Aster spathulifolius*, *Crossostephium chinense*, *Chrysanthemum zawadskii* and *Chrysanthemum makinoi*, showed significant resistance, while *Chrysanthemum nankingense* and *Ajania × marginatum* showed high sensitivity. Pearson correlation analysis revealed there was a significant negative correlation between the density of secretory glandular trichomes on the adaxial leaf surface and the population size of *F. occidentalis* ($P < 0.05$), indicating that this type of glandular trichome might exert a

收稿日期: 2025-08-30; 修回日期: 2025-10-07

基金项目: 江苏省农业科技自主创新项目 (CX(23)3002); 国家自然科学基金资助项目 (32341048)

作者简介: 宋召丽 (ORCID: 0009-0004-5724-9998), 从事花卉生产原理与良种繁育研究。E-mail: songzli223@163.com。通信作者: 王振兴 (ORCID: 0000-0001-5102-7121), 教授, 从事观赏植物育种原理与技术研究。E-mail: wangzx@njau.edu.cn

repellent effect by secreting terpenoid secondary metabolites. [Conclusion] The intrinsic relationship between leaf morphological resistance traits and *F. occidentalis* behavior have been clarified, providing a phenotypic basis for investigating the molecular mechanism of chrysanthemum resistance to *F. occidentalis*. [Ch, 5 fig. 2 tab. 28 ref.]

Key words: *Chrysanthemum*; *Frankliniella occidentalis*; glandular trichomes; insect resistance; evaluation and identification of germplasm resources

菊花 *Chrysanthemum* × *morifolium* 又称女华、鞠华等, 是菊科 Asteraceae 菊属 *Chrysanthemum* 多年生宿根花卉, 起源于中国, 栽培历史悠久, 经长期人工选择培育为著名观赏花卉^[1]。缨翅目 Thysanoptera 蓟马 *Thrips vulgatissimus* 是危害菊花的优势害虫类群^[2], 其中西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 是危害菊花的主要种类^[3]。该虫起源于美国西部, 后扩散至欧亚非多个国家和地区^[4], 属于缨翅目锯尾亚目 Terebrantia 蓟马科 Thripidae 花蓟马属 *Frankliniella*, 其对蔬菜、果树、花卉等植物造成严重危害^[5-6], 不仅造成直接取食危害^[7], 还在菊花生长过程持续传播病毒^[8-9], 影响菊花的观赏价值^[10]。

植物抗虫性通常与其形态特征和化学防御机制密切相关^[11-12]。腺毛作为关键表面结构, 分为分泌型腺毛和 T 型腺毛^[13]。鉴于西花蓟马的发生危害特点及寄主偏好性^[14], 其寄主选择研究成为热点^[15]。蓟马在花卉上的种群数量从大到小依次为玫瑰 *Rosa rugosa*、非洲菊 *Gerbera jamesonii*、栀子花 *Gardenia jasminoides*^[16], 对黄花美人蕉 *Canna indica* var. *flava* 和黄花槐 *Sophora xanthantha* 的偏好性强于凤尾兰 *Yucca gloriosa* 和夹竹桃 *Nerium oleander*^[6]。利用品种自身的抗性已成为蓟马综合防治的基本手段^[17]。本研究以南京农业大学 31 种菊属及近缘属野生资源为研究对象, 通过离体接种实验, 系统分析其叶片腺毛密度与西花蓟马取食偏好性的关系, 为培育抗西花蓟马菊花新品种、减少农药使用、促进菊花产业的健康可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试菊属及近缘属材料 供试寄主材料: 菊属及近缘属材料取自南京农业大学基地种质资源圃。供试的 31 份菊属及近缘属野生资源, 均由依托南京农业大学建设的国家南方草本花卉种质资源圃(南京)提供。供试材料见表 1。

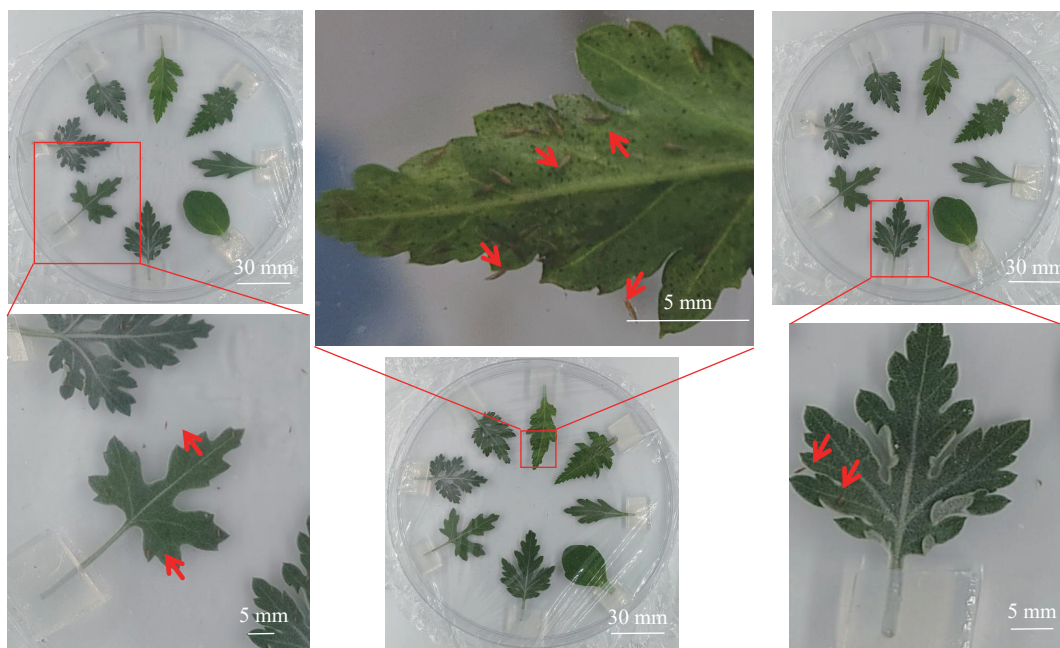
表 1 菊属及近缘属野生资源供试名单

Table 1 List of wild resources from <i>Chrysanthemum</i> and its closely related genera for testing			
植物	采集地	植物	采集地
濑户野路菊 <i>Chrysanthemum japonense</i> var. <i>debile</i>	日本万叶	菊花脑 <i>C. nankingense</i>	中国江苏南京
野菊 <i>C. indicum</i>	中国江苏南京	矾菊 <i>Ajania pacificum</i>	日本
菱叶菊 <i>C. rhombifolium</i>	中国重庆巫山	花矾菊 <i>Ajania</i> × <i>marginatum</i>	日本
野菊 <i>C. indicum</i>	中国江苏溧水	毛华菊 <i>C. vestitum</i>	中国河南伏牛山
野菊 <i>C. indicum</i>	中国江苏汤山	大岛野路菊 <i>C. crassum</i>	日本沿海
野菊 <i>C. indicum</i>	中国陕西太平山	楔叶菊 <i>C. naktongense</i>	中国黑龙江伊春
野菊 <i>C. indicum</i>	中国陕西化羊御	萨摩野菊 <i>C. ornatum</i>	日本广岛
细裂亚菊 <i>Ajania przewalskii</i>	中国青海玉树	毛华菊 <i>C. vestitum</i>	中国安徽天柱山
野菊 <i>C. indicum</i>	中国湖南邵阳	野路菊 <i>C. japonense</i> (RG2)	日本
若狭滨菊 <i>C. makinoi</i>	日本筑波	野路菊 <i>C. japonense</i> (RG8)	日本
岩菊 <i>C. zawadskii</i>	日本广岛	花矾菊 <i>Ajania</i> × <i>marginatum</i>	日本万叶
盐菊 <i>Ajania shiwogiku</i>	日本	野菊 <i>C. indicum</i>	日本
川甘亚菊 <i>Ajania potaninii</i>	中国四川金川	野菊 <i>C. indicum</i>	中国南京紫金山
达摩菊 <i>Aster spathulifolius</i>	日本	银背菊 <i>C. argyrophyllum</i>	中国陕西天竺山
神农香菊 <i>C. lavandulifolium</i> var. <i>aromaticum</i>	中国湖北神农架	芙蓉菊 <i>Crossostephium chinense</i>	中国福建
足摺野路菊 <i>C. japonense</i> var. <i>ashizuriense</i>	日本筑波		

1.1.2 供试虫源 西花蓟马由南京农业大学植物保护学院朱敏老师提供。西花蓟马放置在人工气候室中, 温度设定为 $(25 \pm 1) ^\circ\text{C}$, 湿度设定为 $(50 \pm 5) \%$, 光周期为 16 h(光照)/8 h(黑暗), 提前 14 d 进行统一继代处理^[16], 以室内连续饲养 3 代以上的成虫作为供试虫源。试验前将芸豆 *Phaseolus vulgaris* 提前取出进行 12 h 饥饿处理^[18]。

1.2 菊属及近缘属叶片人工离体接种方法

供试西花蓟马经 12 h 饥饿处理后, 用软毛笔将成虫移至冰上培养皿(直径 150 mm)中进行低温 $[(4 \pm 1) ^\circ\text{C}]$ 镇静。随后将西花蓟马精准转移至皿中心, 设置每皿 50 头成虫的接种密度, 5 个生物学重复。接种后立即用透气聚乙烯膜封口, 并用无菌注射针头(1 mL)在膜上制备均匀微孔(孔径 0.45 mm)保障通气。数据采集于接种后 12 和 24 h 进行, 通过目视计数统计叶片上西花蓟马数量, 并按预设分级标准评定危害等级(图 1)。



接种西花蓟马后叶盘摆放及西花蓟马活动局部放大图。

图 1 离体叶片接种西花蓟马示例

Figure 1 Detached leaf inoculation example of *F. occidentalis*

1.3 叶片腺毛密度统计方法

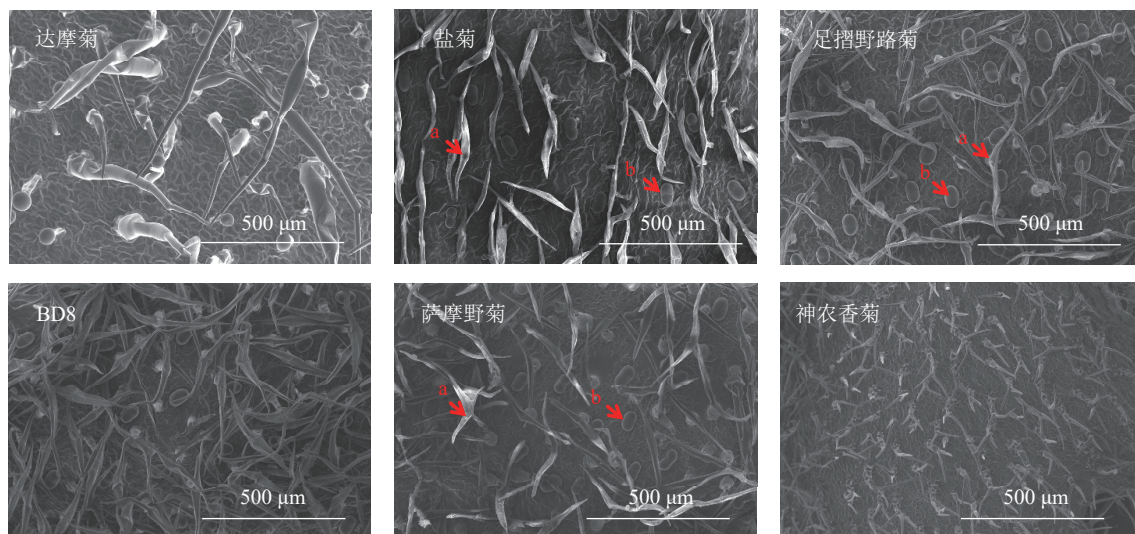
1.3.1 叶片采集及显微观察 采集新鲜植物从顶芽开始第 3 片成熟健康叶片^[19], 用湿润滤纸保湿, 一部分用于扫描电子显微镜(FlexSEM 1000 II)观察。另一部分叶片样本未经染色处理, 直接置于体视荧光显微镜(M165FC)下, 采用绿色荧光蛋白(GFP)、红色荧光蛋白(RFP)荧光通道, 通过自发荧光特性区分分泌型腺毛(绿色或红色荧光信号)与 T 型腺毛(无特异性荧光)。

1.3.2 视野选取与图像采集 叶片正反面均分为近叶尖、中部、近叶基 3 个区域, 每个区域随机选 3 个非重叠视野, 共 18 视野。每生物学重复含 3 株植株叶片样本^[20], 总计 54 视野。扫描电子显微镜图像分辨率为 $2\,560 \times 1\,902$ (TIFF 格式), 荧光显微镜图像分辨率 $1\,920 \times 1\,440$ (PNG 格式)(图 2~3)。

1.3.3 腺毛计数与密度计算 基于显微图像内置标尺(扫描电子显微镜: $50\, \mu\text{m}$ 标尺; 荧光显微镜: $100\, \mu\text{m}$ 标尺), 设定图像空间分辨率(像素 $\cdot\mu\text{m}^{-1}$)。分泌型腺毛依据绿色或红色荧光信号及球形形态特征人工标记; T 型腺毛通过扫描电子显微镜图像中的非分泌型结构(直立或倒伏毛发状)进行区分。密度计算: 统计单视野内 2 类腺毛数量, 根据图像标尺计算实际视野面积(mm^2), 腺毛密度=腺毛数量/视野面积, 根 $\cdot\text{mm}^{-2}$ 。

1.4 抗性鉴定

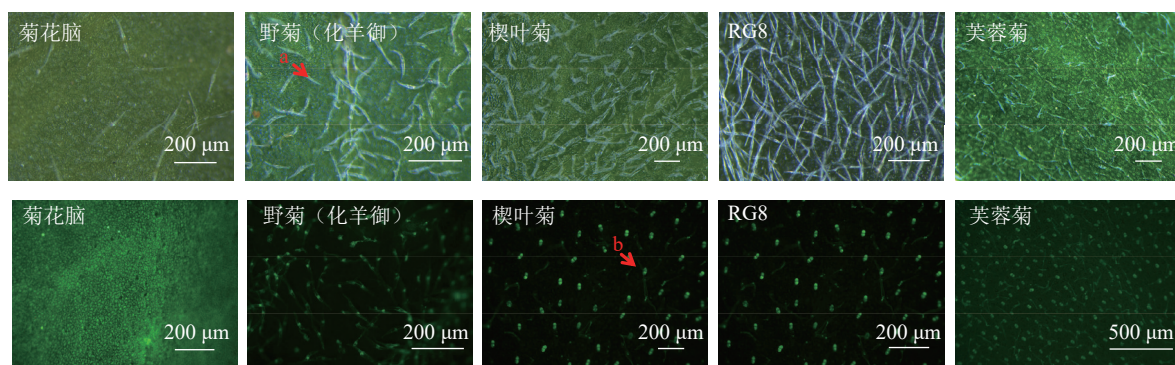
本研究利用接种后西花蓟马种群数量进行抗性评价^[6, 21], 封闭空间接种 50 头西花蓟马, 将种质划分为 5 个抗性等级: 高抗西花蓟马(西花蓟马数量 ≤ 1 头 $\cdot\text{叶}^{-1}$)、中抗西花蓟马(2~4 头 $\cdot\text{叶}^{-1}$)、低抗西花蓟



分辨率设定为2 560×1 902，其中a为T型腺毛示例，b为分泌型腺毛示例。

图2 菊属及近缘属部分叶表皮扫描电镜示意图

Figure 2 SEM diagram of leaf epidermis of *Chrysanthemum* and related genera



图像分辨率设定为1 920×1 440，其中a为T型腺毛示例，b为分泌型腺毛示例

图3 菊属及近缘属部分叶表皮体式荧光显微镜示意图

Figure 3 Schematic diagram of fluorescence microscope for leaf epidermis of *Chrysanthemum* and related genera

马 (5~6 头·叶⁻¹)、易感西花蓟马 (7~9 头·叶⁻¹) 和高感西花蓟马 (≥10 头·叶⁻¹)。

1.5 数据验证与统计分析

离体接种西花蓟马设置 5 个生物学重复，叶片腺毛密度统计设置 3 个生物学重复，每个重复取 6 个视野^[22]，以平均值±标准误表示。本研究使用 GraphPad Prism 8.0.2 软件绘制接种后西花蓟马数量箱线图，使用 R 4.3.2 软件绘制腺毛密度与西花蓟马偏好性相关性散点图。

2 结果与分析

2.1 西花蓟马对不同寄主叶片的选择

本研究通过离体接种实验发现：西花蓟马对不同菊属及近缘属种质的选择倾向不同，表现为虫口数量的差别。接种后 12 h，菊花脑上西花蓟马虫口数量最高 (36 头)，砵菊 (19 头) 和花砵菊 (18 头) 次之，芙蓉菊 (2 头) 和达摩菊 (0 头) 最低。至 24 h，菊花脑仍维持最高密度 (23 头)，花砵菊次之 (20 头)，芙蓉菊与达摩菊持续低水平 (0~2 头)。值得注意的是，野菊 (溧水) 的虫口数量从 12 h 的 3 头升至 24 h 的 12 头，表明其取食偏好具有一定时间依赖性 (图 4)。菊属内不同种间西花蓟马虫口数量也有差别，接种后 12 及 24 h，菊花脑西花蓟马种群密度最高 (23~36 头)，砵菊最低 (0~2 头)。上述结果表明：不同菊属及近缘属以及属间不同种质都对西花蓟马的抗性存在差别，且西花蓟马的取食行为具有明显的时序性动态特征。

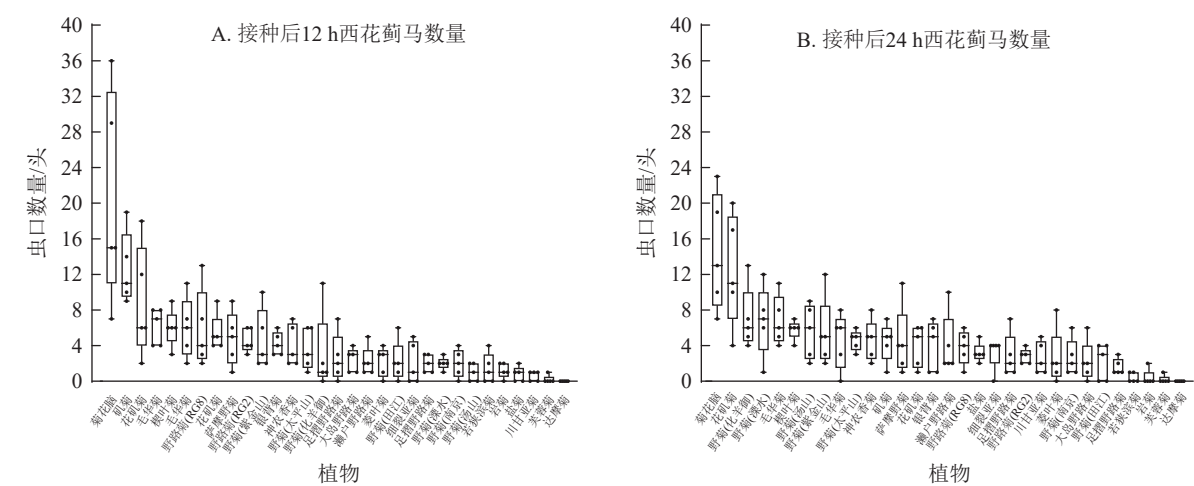


图 4 31 份菊属及近缘属野生资源离体叶片接种后 12 h (A) 及 24 h (B) 西花蓟马数量
Figure 4 Number of thrips at 12 h (A) and 24 h (B) after inoculation in detached leaves of 31 wild resources of *Chrysanthemum* and related genera

2.2 抗性等级划分与种质筛选

基于生物学意义、数据稳定性、动态变化特征及研究一致性等方面的综合考虑，本研究采用接种后 24 h 的西花蓟马数量进行抗性分级，能够更全面地反映菊属及近缘属种质资源对西花蓟马的抗性特征。

根据 1.4 节中菊属及近缘属种质抗性划分标准，从 31 份菊属及近缘属种质中筛选出 4 份高抗种质和 2 份高感种质 (表 2)。

表 2 菊属及近缘属野生资源叶片虫口数量分级

Table 2 Grading of insect population on leaves of <i>Chrysanthemum</i> and related genera								
植物	虫口数量/头	抗性等级	植物	虫口数量/头	抗性等级	植物	虫口数量/头	抗性等级
菊花脑	14.40±5.85	高感	矾菊	4.40±1.96	低抗	菱叶菊	2.60±2.80	中抗
花矾菊	12.40±5.61	高感	萨摩野菊	4.40±3.50	低抗	野菊(南京)	2.60±1.85	中抗
野菊(化羊御)	7.00±3.16	易感	花矾菊	4.00±2.10	低抗	大岛野路菊	2.20±2.04	中抗
野菊(溧水)	6.80±3.54	易感	银背菊	4.00±2.53	低抗	野菊(田江)	2.20±1.83	中抗
毛华菊	6.80±2.48	易感	濂户野路菊	4.00±3.10	低抗	野菊(日本)	1.60±0.80	中抗
楔叶菊	5.80±0.98	低抗	野路菊(RG8)	3.80±1.72	中抗	若狭滨菊	0.40±0.49	高抗
野菊(汤山)	5.60±2.73	低抗	盐菊	3.20±0.98	中抗	岩菊	0.40±0.80	高抗
野菊(紫金山)	5.40±3.50	低抗	细裂亚菊	3.20±1.60	中抗	芙蓉菊	0.20±0.40	高抗
毛华菊(伏牛山)	4.60±2.80	低抗	足摺野路菊	2.80±2.23	中抗	达摩菊	0.00±0.00	高抗
野菊(太平山)	4.60±1.02	低抗	野路菊(RG2)	2.80±0.75	中抗			
神农香菊	4.60±2.06	低抗	川甘亚菊	2.60±1.62	中抗			

菊属内不同种质抗性差异明显，既有高感的菊花脑，也有高抗的岩菊等；菊属近缘属 (如亚菊属、紫菀属等) 中的川甘亚菊表现为抗西花蓟马，达摩菊表现为高抗西花蓟马，可见近缘属中也存在优异的抗西花蓟马种质。

2.3 西花蓟马取食偏好性与腺毛密度的相关性

分析了西花蓟马取食行为与叶片腺毛密度的关系：叶片 T 型腺毛密度与接种后 12 和 24 h 的西花蓟马数量均无显著相关性 (图 5 A 和 B)。这表明 T 型腺毛可能对西花蓟马的取食行为没有显著影响。

在离体接种后 12 h，无论是叶片近轴面还是远轴面，分泌型腺毛密度与西花蓟马数量均无显著相关性 (图 5 C 和 D)。接种后 24 h，菊属及近缘属叶片近轴面的分泌型腺毛密度与西花蓟马数量呈显著负相关 ($R=-0.36$, $P=0.048$, 图 5 C)，即分泌型腺毛密度越高，西花蓟马数量越少。这可能是因为分泌型腺毛分泌的化学物质对西花蓟马有驱避或抑制作用。然而，叶片远轴面的分泌型腺毛密度与西花蓟马数量无显著相关性 (图 5 D)，这可能是因为远轴面腺毛的分泌物对西花蓟马的影响较小。

综上所述，T 型腺毛对西花蓟马的取食行为没有显著影响。分泌型腺毛 (尤其是叶片近轴面的) 可能

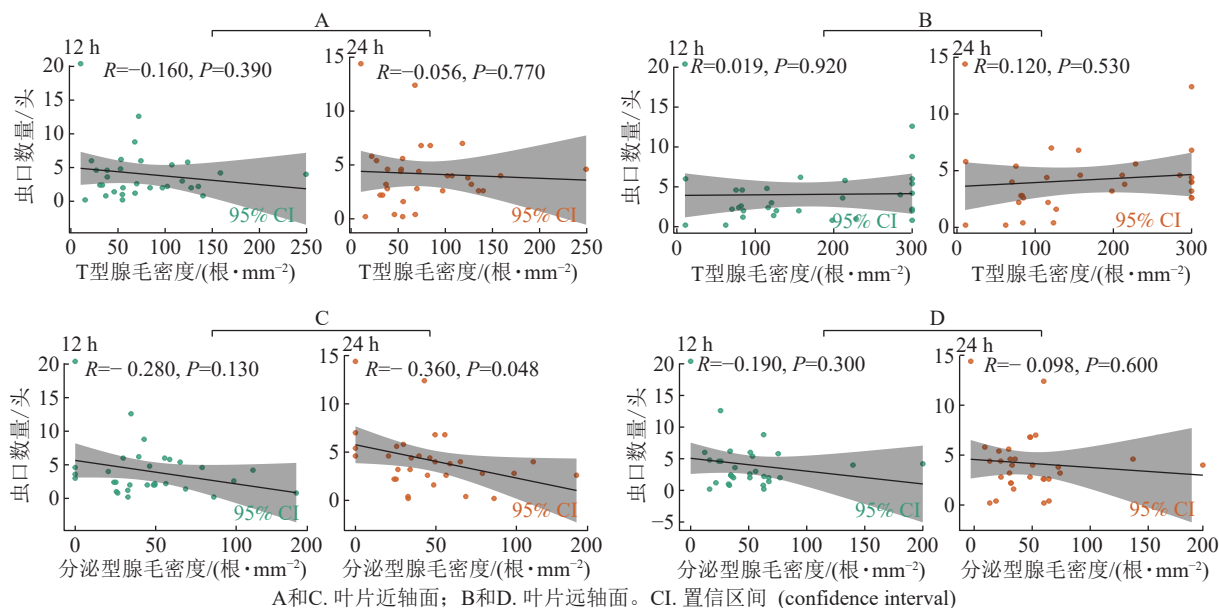


图5 31份菊属及近缘属野生资源2种叶片腺毛密度与接种西花蓟马数量相关性

Figure 5 Correlation between leaf glandular hair density and the number of thrips inoculated in 31 species of *Chrysanthemum* and related genera

在较长时间内 (24 h) 对蓟马的取食行为产生抑制作用, 表现为西花蓟马数量与腺毛密度呈负相关。短期内 (12 h), 分泌型腺毛的影响不显著。

3 讨论

3.1 西花蓟马对菊属及近缘属不同寄主的取食偏好分析

本研究发现: 不同菊属及近缘属野生资源对西花蓟马的抗性存在显著差异, 其中菊花脑上的西花蓟马数量最多, 达摩菊上最少。这种差异可能与植物的物理、化学及营养特性相关^[13]。此外, 西花蓟马数量在不同寄主叶片上随时间呈现动态变化, 其时间依赖性可能与西花蓟马取食行为的时间动态性^[17]、植物防御机制 (如分泌型腺毛化学物质) 的时效性^[23] 以及环境因素 (光照、温度) 变化有关^[19]。

3.2 T型腺毛的结构特性与防御局限性

本研究发现: T型腺毛作为非分泌型物理毛状体, 可能对西花蓟马的取食行为没有显著影响。T型腺毛防御功能主要依赖机械阻隔作用, 然而, 西花蓟马体长仅 1~2 mm 且口器 (锉吸式) 具有高度灵活性^[24], 可穿透腺毛间隙或通过调整取食位点规避物理屏障^[23, 25]。研究证实: 刺吸式昆虫可通过行为可塑性^[23] 快速适应单纯物理防御。例如, 烟粉虱 *Bemisia tabaci* 可通过调整取食角度规避番茄 *Solanum lycopersicum* 非腺毛^[11]。类似地, 本研究中西花蓟马可能在接种后数小时内通过触角感器识别 T型腺毛分布模式^[26], 并选择低阻力路径完成取食。这种适应性行为导致物理屏障的防御效率随时间推移进一步降低。

3.3 西花蓟马的趋避行为与菊属及近缘属叶片近轴面分泌型腺毛的关联

接种西花蓟马后 24 h 的种群数量与菊花叶片近轴面分泌型腺毛密度呈显著负相关, 而接种后 12 h 时两者无显著相关。这表明分泌型腺毛的抗虫效应具有滞后性, 其防御功能可能依赖于腺毛分泌物的持续释放或积累^[27]。接种后 12 h 种群数量和腺毛密度相关性缺失可能与西花蓟马适应行为相关^[23]。例如, 通过触角嗅觉感器^[23] 快速调节对植物挥发物的响应阈值^[12], 或通过唾液鞘包裹腺毛尖端以规避物理损伤^[11]。随着暴露时间延长 (24 h), 腺毛分泌物的化学防御物质可能协同干扰西花蓟马取食行为或消化生理^[28], 产生显著趋避效应。植物防御化合物通常在损伤或昆虫取食后数小时内逐步合成并释放^[8], 这与本研究中接种后 24 h 抗性表型的显现时间窗口相吻合。

3.4 种质资源收集与保护的生态及农业战略价值

本研究从 31 份菊属及近缘属野生种质中筛选出 4 份高抗种质 (菊属 2 份, 芙蓉菊属 1 份, 紫菀属 1 份) 和 2 份高感种质 (菊属 1 份, 亚菊属 1 份)。这表明野生种质资源作为遗传多样性载体, 提供了庞大

的基因库, 是维持生态平衡和种质创新的核心资源, 可进一步推动采集与保护。

4 结论

本研究通过离体接种西花蓟马, 分析西花蓟马对不同菊属及近缘属种质的取食偏好性。结果表明: 离体接种后 24 h, 叶片近轴面分泌型腺毛密度与西花蓟马取食偏好性呈显著负相关。基于西花蓟马选择数量建立了 5 级抗性评价体系, 筛选出 4 份抗西花蓟马种质。该结果为菊花抗西花蓟马育种提供了优异抗性资源, 为更多品种的抗性评价鉴定奠定了基础, 并为基于植物次生代谢产物的绿色防控技术研究提供了良好材料。

5 参考文献

- [1] 孙娅. 菊花近缘种属植物苗期抗蚜虫性鉴定与抗蚜机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
SUN Ya. *Studies on Aphid Resistance and Mechanisms in Chrysanthemum and It's Related Species at Seedling Stage* [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012.
- [2] 张友军, 吴青君, 徐宝云, 等. 危险性外来入侵生物——西花蓟马在北京发生危害[J]. 植物保护, 2003, 29(4): 58–59.
ZHANG Youjun, WU Qingjun, XU Baoyun, et al. A dangerous alien invasive organism, *Frankliniella occidentalis*, is harmful in Beijing [J]. *Plant Protection*, 2003, 29(4): 58–59.
- [3] YASASVI P, PAUL A, KUMAR G A, et al. Documentation of insect-pests in *Gerbera* (*Gerbera jamesonii* H. Bolus) in Kerala and their management [J]. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 2025, 28(2): 191–198.
- [4] GHOLAMI Z, FATEHI F, MEHRABAN F H, et al. Comparative proteomics of resistant and susceptible strains of *Frankliniella occidentalis* to abamectin [J]. *Electrophoresis*, 2025, 46(1/2): 112–126.
- [5] 张治科, 吴小梅. 西花蓟马对蔬菜不同器官的选择性研究[J]. 中国果菜, 2024, 44(6): 44–49.
ZHANG Zhike, WU Xiaomei. Selectivity of *Frankliniella occidentalis* to different organs of vegetables [J]. *China Fruit & Vegetable*, 2024, 44(6): 44–49.
- [6] 王春, 曹宇, 刘燕, 等. 西花蓟马对 4 种花卉寄主的偏好性研究[J]. 河南农业科学, 2015, 44(3): 83–87.
WANG Chun, CAO Yu, LIU Yan, et al. The preference of *Frankliniella occidentalis* to different horticultural host [J]. *Journal of Henan Agricultural Science*, 2015, 44(3): 83–87.
- [7] 田松, 郅军锐, 曾广. 基于刺吸电位技术的西花蓟马取食行为研究进展[J]. 山地农业生物学报, 2024, 43(6): 27–32.
TIAN Song, ZHI Junrui, ZENG Guang. Review of feeding behavior of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) based on electrical penetration graph [J]. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2024, 43(6): 27–32.
- [8] 李寿银. 香樟齿喙象对香樟萜类防御物质的代谢适应机制研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2025.
LI Shouyin. *Studies on the Metabolic Adaptation of Pagiophloeus tsushimanus to Terpenoid-based Defenses in Cinnamomum camphora* [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2025.
- [9] 叶倩, 卢冰心, 魏艳, 等. 番茄斑萎病毒侵染的西花蓟马酵母双杂交 cDNA 文库的构建和分析[J]. 福建农业学报, 2022, 37(9): 1203–1208.
YE Qian, LU Bingxin, WEI Yan, et al. Construction of yeast two-hybrid cDNA library on tomato spotted wilt tospovirus-infected *Frankliniella occidentalis* [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 37(9): 1203–1208.
- [10] LaBONTE P, PACKER R, McINNES H, et al. Methods for *Thrips* transmission and maintenance of tomato spotted wilt virus (TSWV) [J]. *Methods in Molecular Biology*, 2025, 2893: 119–136.
- [11] 陆宴辉, 张永军, 吴孔明. 植食性昆虫的寄主选择机理及行为调控策略[J]. 生态学报, 2008, 28(10): 5113–5122.
LU Yanhui, ZHANG Yongjun, WU Kongming. Host-plant selection mechanisms and behavioural manipulation strategies of phytophagous insects [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(10): 5113–5122.
- [12] 冯臣成, 李迅东, 毛佳, 等. 香蕉花蕾苞片挥发物对西花蓟马的驱避作用[J]. 应用生态学报, 2025, 36(4): 1244–1250.
FENG Chencheng, LI Xundong, MAO Jia, et al. Repellency of volatiles from bracts of banana flower bud to *Frankliniella occidentalis* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2025, 36(4): 1244–1250.
- [13] 亓超凡, 刘艳华, 刘静, 等. 植物腺毛分泌物研究进展[J]. 福建农业学报, 2024, 39(1): 115–124.
QI Chaofan, LIU Yanhua, LIU Jing, et al. Research progress on glandular trichome secretions of plants [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2024, 39(1): 115–124.
- [14] 李向永, 谌爱东, 陈福寿, 等. 西花蓟马及其天敌微小花蝽在月季上的发生特点[C]//中国植物保护学会. 中国植物保护

- 学会成立 50 周年庆祝大会暨 2012 年学术年会论文集. 北京: 中国植物保护学会, 2012: 317–322.
- LI Xiangyong, CHEN Aidong, CHEN Fushou, *et al.* Occurrence characteristics of *Frankliniella occidentalis* (pergande) and its natural enemy *Orius minutus* (Linnaeus) on rose[C]//Chinese Society of Plant Protection. *Proceedings of the 50th Anniversary Celebration Meeting of Chinese Society of Plant Protection and 2012 Academic Annual Meeting*. Beijing: Chinese Society of Plant Protection, 2012: 317–322.
- [15] 张治科, 苗芳芳, 吴小梅. 西花蓟马对宁夏不同寄主蔬菜及其不同部位叶片的选择研究[J]. 蔬菜, 2023(12): 32–38.
- ZHANG Zhike, MIAO Fangfang, WU Xiaomei. Studies on the selection of *Frankliniella occidentalis* to different host vegetables and their leaves at different parts in Ningxia [J]. *Vegetables*, 2023(12): 32–38.
- [16] 曹宇. 西花蓟马与黄胸蓟马对花卉寄主的适应性比较研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2021.
- CAO Yu. *Comparison on the Host Adaptation of Frankliniella occidentalis and Thrips hawaiiensis to Different Horticultural Plants* [D]. Guiyang: Guizhou University, 2021.
- [17] JIN Ye, LUO Luna, ZHANG Ruirui, *et al.* Effect of pesticide application techniques on *Thrips* control in the cowpea flowering stage [J]. *Pest Management Science*, 2025, **81**(4): 2101–2113.
- [18] 张婷婷. 抗西花蓟马花生品种的筛选及性状分析[D]. 保定: 河北农业大学, 2020.
- ZHANG Tingting. *Screening and Characteristic Analysis of Peanut Varieties Resistant to Frankliniella occidentalis* [D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2020.
- [19] ROSSI G, MAHAS J B, CHITTURI A, *et al.* The influence of crop and leaf position on *Thrips* (Thysanoptera: Thripidae) oviposition in cotton, soybean, and peanut seedlings [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2025, **118**(1): 459–464.
- [20] 于宗霞. 植物腺毛发育的影响因素和分子机制[J]. 植物生理学报, 2020, **56**(11): 2332–2338.
- YU Zongxia. Factors and molecular mechanism influencing plant glandular trichome development [J]. *Plant Physiology Journal*, 2020, **56**(11): 2332–2338.
- [21] 陈泓渝, 王映山, 李伦, 等. 西花蓟马对不同寄主植物的选择及嗅觉行为反应[J]. 植物保护, 2021, **47**(3): 122–126.
- CHEN Hongyu, WANG Yingshan, LI Lun, *et al.* Selective and olfactory responses of *Frankliniella occidentalis* to different host plants [J]. *Plant Protection*, 2021, **47**(3): 122–126.
- [22] CHEN Gang, KLINKHAMER P G L, ESCOBAR-BRAVO R. Constitutive and inducible resistance to *Thrips* do not correlate with differences in trichome density or enzymatic-related defenses in *Chrysanthemum* [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2020, **46**(11/12): 1105–1116.
- [23] 李梦雅, 雷朝亮, 朱芬. 不同口器昆虫取食行为的研究方法[J]. 华中昆虫研究, 2016(1): 8–13.
- LI Mengya, LEI Chaoliang, ZHU Fen. Research methods of feeding behavior of insects with different mouthparts [J]. *Huazhong Entomological Research*, 2016(1): 8–13.
- [24] Le HESRAN S, SEWKARANSING D, KUOH H E, *et al.* Developmental time, potential food sources and predatory behaviour of the invasive pest species *Thrips parvispinus* [J]. *BioControl*, 2025, **70**(3): 319–331.
- [25] LOUGHNER R, GOLDMAN K, LOEB G, *et al.* Influence of leaf trichomes on predatory mite (*Typhlodromus pyri*) abundance in grape varieties [J]. *Experimental & Applied Acarology*, 2008, **45**(3/4): 111–122.
- [26] VALVERDE P L, FORNONI J, NÚÑEZ-FARFÁN J. Defensive role of leaf trichomes in resistance to herbivorous insects in *Datura stramonium* [J]. *Journal of Evolutionary Biology*, 2001, **14**(3): 424–432.
- [27] 张治科, 虎花, 尚小霞. 黄瓜花挥发性化学物质鉴定及其对西花蓟马行为反应的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2022, **48**(1): 39–45.
- ZHANG Zhike, HU Hua, SHANG Xiaoxia. Identification of volatiles in cucumber flowers and their effects on behavioral response of *Frankliniella occidentalis* [J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2022, **48**(1): 39–45.
- [28] 张妮. 喀斯特地区茶小绿叶蝉及其寄主植物四球茶互作机制研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2025.
- ZHANG Ni. *Study on the Interaction Mechanism of Tea Green Leafhopper and Host Plant (Camellia tetracocca) Surrounded by Karst Region* [D]. Guiyang: Guizhou Normal University, 2025.