·资源与鉴定·

入侵害虫菊方翅网蝽危害艾的叶片及对艾叶品质的影响

王梓欣, 王卉颖, 陈昌婕, 陈蔚林, 苗玉焕*, 刘大会*
(湖北中医药大学 药学院, 湖北 武汉 430065)

[摘要] 研究入侵害虫菊方翅网蝽对艾的危害及其对艾叶品质的影响。对湖北黄冈艾叶基地虫害危害症状进行观察,对害虫进行形态特征及分子鉴定,确定害虫种类,调查虫害发生规律及成灾机制,并采用电镜、GC-MS 和 HPLC 检测虫害危害叶片的显微结构、挥发油和黄酮类成分含量。结果表明,入侵害虫菊方翅网蝽对艾可造成毁灭性危害。其主要危害艾的叶片部位,受害初期,叶面出现针点状失绿点,随危害加剧,失绿点逐渐沿着叶脉扩散并聚集成片导致叶片偏黄色,危害严重部位变成棕黄色。菊方翅网蝽在高温干旱天气下容易发生,常在夏季暴发,艾叶被取食后,显微观察到叶片正面被取食部分渐出针点状失绿点,并有菊方翅网蝽的黑色排泄物紧密附着在腺毛上形成黑色油状污斑,叶肉组织严重破坏,非腺毛被取食断裂分布杂乱并粘连成片。受害前期叶片的新绿原酸、隐绿原酸、异绿原酸 A、异绿原酸 B、高车前素、棕矢车菊素、异泽兰黄素含量相对于受害中期叶片显著升高,受害后期叶片中上述成分含量显著降低;艾叶挥发性成分桉油精、龙脑、松油酯、石竹素在中度受害叶片中含量显著降低,而在重度受害叶片中含量显著升高。该研究发现菊方翅网蝽对艾叶的品质有很大影响,应重点防控;生产上发现对菊方翅网蝽存在抗性的艾种质,可开展抗菊方翅网蝽的艾叶新品种选育。

[关键词] 艾; 菊方翅网蝽; 危害症状; 分子鉴定; 挥发油; 黄酮

Corythucha marmorata affects growth and quality of *Artemisia argyi*

WANG Zi-xin, WANG Hui-ying, CHEN Chang-jie, CHEN Wei-lin, MIAO Yu-huan*, LIU Da-hui*
(*Pharmacy Faculty*, *Hubei University of Chinese Medicine*, *Wuhan* 430065, *China*)

[**Abstract**] This study aims to investigate the impact of the invasive pest *Corythucha marmorata* on the growth and quality of *Artemisia argyi*. The signs of insect damage at the cultivation base of *A. argyi* in Huanggang, Hubei were observed. The pests were identified based on morphological and molecular evidence. The pest occurrence pattern and damage mechanism were investigated. Electron microscopy, gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), and high performance liquid chromatography (HPLC) were employed to analyze the microstructure, volatile oils, and flavonoid content of the pest-infested leaves. *C. marmorata* can cause destructive damage to *A. argyi*. Small decoloring spots appeared on the leaf surface at the initial stage of infestation. As the damage progressed, the spots spread along the leaf veins and aggregated into patches, causing yellowish leaves and even brownish yellow in the severely affected areas. The insect frequently appeared in summer because it thrives in hot dry conditions. After occurrence on the leaves, microscopic examination revealed that the front of the leaves gradually developed decoloring spots, with black oily stains formed by the black excrement attaching to the glandular hairs. The leaf flesh was also severely damaged, and the non-glandular hairs were broken, disorganized, and sticky. The content of neochlorogenic acid, cryptochlorogenic acid, isochlorogenic acids A and B, hispidulin, jaceosidin, and eupatilin at the early stage of infestation was significantly higher than that at the middle stage, and the content decreased at the last stage of infestation. The content of eucalyptol, borneol, terpinyl, and caryophyllin decreased in the moderately damaged leaves and increased in the severely damaged leaves. *C. marmorata* was discovered for the first time on *A. argyi* leaves in this study, and its pre-

[收稿日期] 2023-03-10
[基金项目] 国家自然科学基金项目(32270391);国家中医药管理局青年岐黄学者支持项目;湖北省中医药管理局中医药重点项目(ZY2023Z023);湖北省教育厅中青年人才项目(Q20212001);中央本级重大增减支项目(2060302)
[通信作者] *刘大会,E-mail:liudahui@hbtcm.edu.cn;*苗玉焕,E-mail:1365049791@qq.com
[作者简介] 王梓欣,硕士研究生,主要从事中药资源与开发研究,E-mail:1462928582@qq.com

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

vention and control deserves special attention. The germplasm materials resistant to this pest can be used to breed *C. marmorata*-resistant *A. argyi* varieties.

[**Key words**] *Artemisia argyi*; *Corythucha marmorata*; damage symptoms; molecular identification; volatile oil; flavonoid

DOI:10.19540/j.cnki.cjcmm.20230608.101

菊方翅网蝽隶属于半翅目 Hemiptera 网蝽科 Tingdae 方翅网蝽属 *Corythucha*。方翅网蝽属[1]入侵害虫菊方翅网蝽于 2010 年左右最先在上海被发现,后向浙江等地蔓延,直到 2014 年首次在湖北武汉地区观测到该虫。由于此类害虫个体小、繁殖速度快,已经对不少农作物的产量造成了严重的危害[2]。

艾叶为菊科植物艾 *Artemisia argyi* Levl. et Vant. 的干燥叶,为我国传统大宗中药材和民俗植物,已有 3 000 多年应用历史。《中国药典》记载艾叶具有温经止血、散寒止痛、外用祛湿止痒的功效;被广泛应用于临床、针灸、日化、食品、养殖和民俗文化。由于艾叶应用日趋广泛,现在湖北、河南、贵州、江西等省已开展大面积的人工栽培,其中湖北蕲春县艾叶种植面积已逾 20 万亩(1 亩≈667 m^2)。2020 年,笔者在湖北中医药大学药用植物园艾种质资源圃首次发现疑似入侵害虫菊方翅网蝽危害。因此,本研究对艾叶上入侵害虫菊方翅网蝽进行了鉴定,并对该虫危害症状与规律及对艾叶生长和有效成分影响进行系统调查和分析,以期为艾叶种植生产上入侵害虫菊方翅网蝽有效防控提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 供试药品

D0926 昆虫 DNA 提取试剂盒(Omega Bio-Tek 公司);*Taq* DNA 聚合酶、dNTPs、Easy-*Taq*、引物 L1490 (5′-GGTCAACAAATCATAAAGATATTGG-3′ 和 H2198 (5′-TAAACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA-3′)等均来自生工生物工程(上海)股份有限公司;异绿原酸 A(批号 B21539)、绿原酸(批号 B20782)、棕矢车菊素(批号 B21708)、高车前素(批号 B20428)、蔓荆子黄素(批号 B20835)、异泽兰黄素(批号 B21568)等对照品来自上海源叶生物科技有限公司;夏佛塔苷(批号 PCS0917)来自四川成都温江区海科洛公司;新绿原酸(批号 X-014-180410)、隐绿原酸(批号 Y-067-180425)、异绿原酸 B(批号 Y-069-180105)等对照品来自成都瑞芬思生物科技有限公司,以上对照品纯度均≥98.0%。

1.2 仪器

LP-3000 高效液相色谱仪(日本岛津公司)、Centrifuge 5418R 离心机(德国艾本德公司)、C1000PCR 仪(美国伯乐公司)、BG-Power600 电泳仪(北京百晶生物技术有限公司)、Trace1310 型气相质谱联用仪(美国赛默飞公司)、PDMS 萃取纤维头(德国默克公司)、MZ101 体视显微镜(广州市明美光电技术有限公司)、JSM-6510LV 钨灯丝扫描电子显微镜(日本 JEOL 公司)、JFC-1600 离子溅射仪(日本 JEOL 公司)、TG-1701MS 毛细管柱(美国赛默飞公司)。

1.3 艾叶菊方翅网蝽危害症状采样观察

取新鲜健康的艾叶根状茎于干净无菌的基质土中进行培养,待其出苗后,各取 5 盆放置到 2 个防虫网中进行培养,在艾叶植株长到 5~8 cm 时,往其中 1 个防虫网中放置 30 只菊方翅网蝽,此为虫害处理组,另一个防虫网不做特殊处理,2 个防虫网中的艾叶盆栽采用相同的方式进行日常维护,待虫害处理 3 个月后,将处理组与未处理组的植株叶片进行收集,于-80 ℃冷冻保存。

采集田间受菊方翅网蝽侵害初期、中期、后期的艾叶,分别装入自封袋,加适量硅胶干燥并于 4 ℃冰箱中冷藏和阴干待测。初期:艾叶叶片上刚出现失绿点,整体艾叶仍为绿色;中期:艾叶失绿点逐渐增多并向周边扩散,占叶片近一半区域;后期:艾叶严重受害,叶片整体变黄后逐渐枯萎。体视镜和扫描电镜观察叶片显微结构。

1.4 菊方翅网蝽的外观形态以及分子生物学鉴定

于湖北中医药大学药用植物园艾种质资源圃收集不同生长时期的害虫,于体视显微镜下观察。收集 50 mg 害虫于离心管内,通过 D0926 昆虫 DNA 提取试剂盒提取昆虫基因组 DNA,利用通用引物 L1490、H2198 扩增菊方翅网蝽线粒体细胞色素氧化酶亚基Ⅰ(COⅠ)基因,经含 1%溴化乙锭(EB)的琼脂糖凝胶电泳分离后,送生工生物工程(上海)股份有限公司测序。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1.5 菊方翅网蝽在艾叶上的危害规律调查

于 2021 年 3—5 月在湖北黄冈市团风县黄冈市现代农业科技示范园对艾田菊方翅网蝽的田间发生规律与分布情况进行调查,每 15 d 左右调查 1 次,田块按照对角线 5 点取样法,每个点调查 5 株,一共调查 25 株,记录菊方翅网蝽在每个取样点的数量。

1.6 艾叶黄酮和酚酸类成分测定

将干燥后的艾叶样品置于转速为 28 000 r·min^{-1}的高速万能粉碎机中粉碎 30 s,过 1 号筛,将筛出的粉末收集待测[3]。取 0.3 g 粉末,用纯甲醇浸提过夜,LP-3000 高效液相色谱仪测定浸提液中新绿原酸、绿原酸、隐绿原酸、异绿原酸 A、异绿原酸 B、异绿原酸 C、蔓荆子黄素、棕矢车菊素、异泽兰黄素、夏佛塔苷的含量[4-5]。

1.7 艾叶挥发性成分测定[6]

取干燥后的艾叶样品 0.2 g,研碎后放置于有聚四氟乙烯胶垫的 20 mL 顶空进样瓶中,将配置有 100 μm PDMS 萃取纤维头的进样器插入瓶内,80 ℃预热 10 min 后,将萃取头推出,继续孵化 40 min 后,取出,立即插入色谱仪进样口(温度 250 ℃),解吸 3 min。GC-MS 色谱条件:采用 TG-1701MS 毛细管柱,程序升温(初始温度 40 ℃,保持 2 min;以 10 ℃·min^{-1}的速率升温升至 116 ℃,保持 2 min;再以 10 ℃·min^{-1}升至 130 ℃,保持 2 min;以 1 ℃·min^{-1}的速率升至 140 ℃,保持 2 min;再以 3 ℃·min^{-1}的速率升至 150 ℃,保持 2 min,最后以 5 ℃·min^{-1}的速率升至 250 ℃,保持 5 min),载气为高纯氦气(He);流速 0.7 mL·min^{-1};进样口温度 250 ℃;分流比 10∶1。质谱条件:EI 电离源,电子能量 70 eV;温度 280 ℃;传输线温度 230 ℃;采用全扫描模式采集数据,扫描范围 m/z 400~600;溶剂延迟 3 min。

1.8 数据处理

数据通过 Excel 2020 软件录入,并通过统计软件 SPSS 26.0 进行统计学分析,通过 MEGA-X 软件进行系统发育树的构建,利用 GraphPad Prism 7 软件作图。

2 结果与分析

2.1 田间虫害危害症状调查

2020—2022 年,在湖北中医药大学药用植物园和湖北黄冈市团风县黄冈市现代农业科技示范园蕲艾基地均发现疑似入侵害虫菊方翅网蝽为害的蕲艾叶片。害虫以成虫和若虫群集在蕲艾叶片上沿着叶脉刺吸式吸取汁液(图 1A),叶片背面也有密集附着(图 1B),且叶片背面多于叶正面,危害症状扩展很快,导致田间连片受灾(图 1C)。叶片受害初期,叶面出现针点状失绿点(图 1D 上)。随危害加剧,失绿点逐渐沿着叶脉向叶片其他区域扩散。受害严重的叶片,失绿点密集并连成片,叶片偏黄色(图 1D 中)。危害后期,受害范围继续扩大,叶片整体变黄,损伤严重部位变成棕黄色(图 1D 下)。

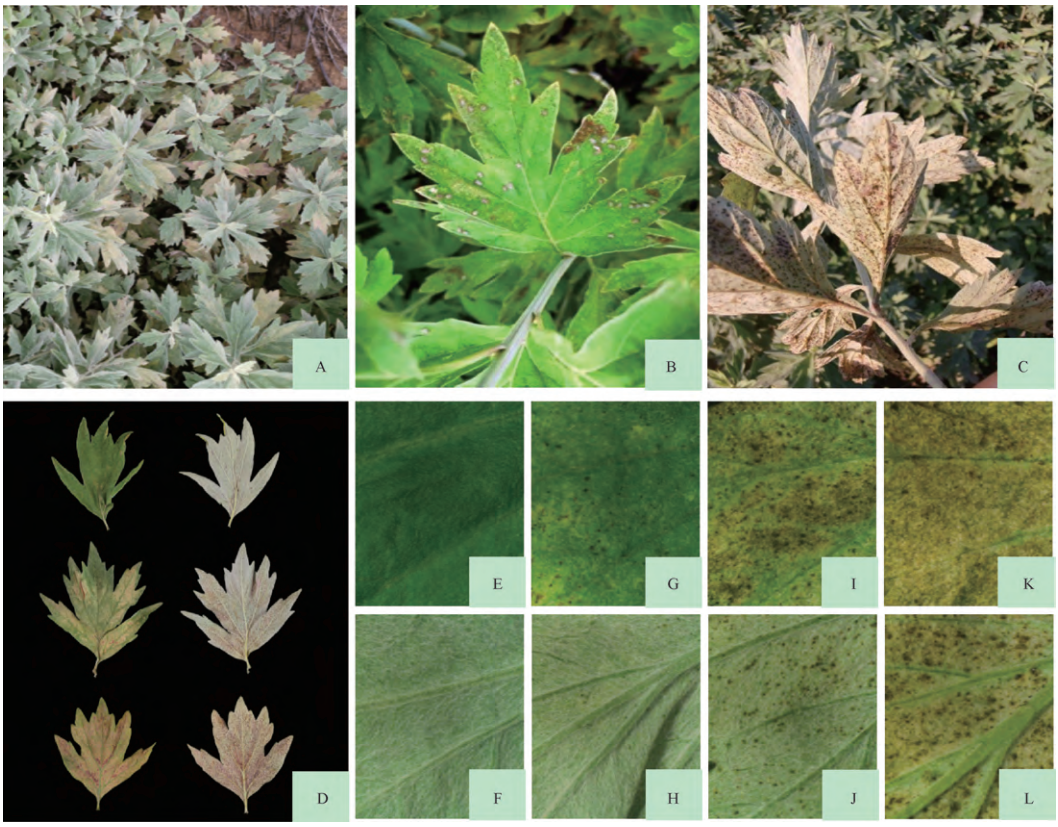
不同受害程度的叶片显微观察结果显示,健康艾叶(图 1E、1F)叶片颜色鲜绿,叶肉组织饱满,腺毛丰富,状态良好;受害初期叶片正面被取食部分渐出失绿点,并出现柏油状黑色小颗粒(图 1G),为菊方翅网蝽的排泄物,叶片背面也能观察到黑色颗粒紧密附着在腺毛中(图 1H);到受害中期,叶片上失绿点增多,黑色排泄物产生黄色污斑,叶片正面呈黄色,叶脉附近难被取食仍为绿色(图 1I),叶片背面黑色颗粒状排泄物增多(图 1J);在受害后期,被害叶片完全失绿,并被黄色污斑布满(图 1K、1L),严重影响植物光合作用及其正常生长。

将采集受害叶片样品用双面导电胶固定于电镜样品台上,在离子溅射仪中真空喷金镀膜后,用扫描电子显微镜进行观察[7]。可观察到未被侵害的艾叶叶肉细胞完整光滑,略有皱缩,腺毛完整饱满分布密集,向下凹陷镶嵌在表皮上(图 2A、2B),在受害初期的叶片上,清晰可见部分叶肉组织被破坏并有残渣附着,非腺毛分布杂乱(图 2C、2D);在受害中期的叶片上部分区域的叶肉组织被破坏翻起,形成裂痕碎片(图 2E、2F);在受害后期的叶片上,叶肉组织进一步被破坏形成众多沟裂,非腺毛粘连成片,部分腺毛被非腺毛包裹(图 2G、2H)。

2.2 害虫形态特征和分子鉴定

菊方翅网蝽若虫形态生长过程可以看出,若虫共有 5 个龄期,1 龄若虫无翅芽,头部有刺突、体表无明显刺突(图 3A)。2 龄若虫无翅芽,中胸小盾片具黑色突起(图 3B)。3 龄若虫翅芽略有突起,中胸小盾片黑色突起明显(图 3C)。4 龄若虫前翅翅芽伸至第 1 腹节前缘,前翅上有刺突,前胸背板 2 个刺突明显(图 3D)。5 龄若虫体光滑,具光泽,浅褐色;背部有多个刺簇状突起;头短,圆形向前突起;前触角细长,喙长,端部伸达后足基节;前胸背板宽且短,几呈横长方形;后缘中部稍呈角状突起 (图 3E)。

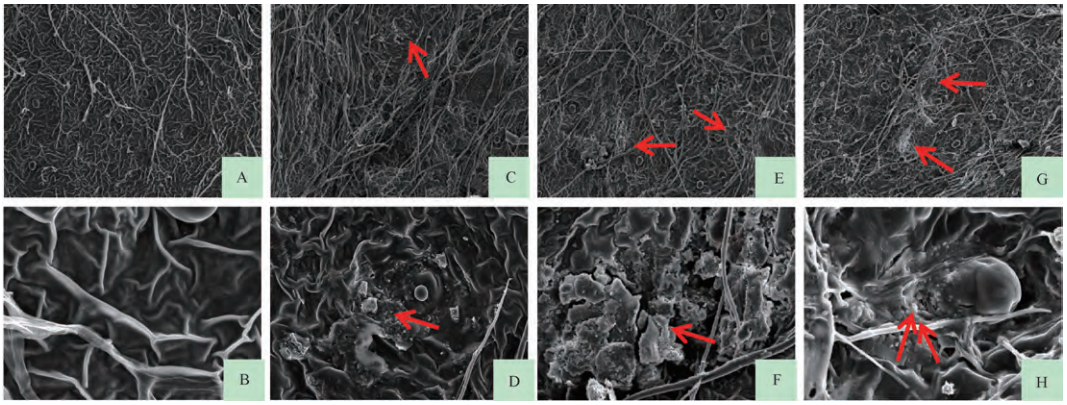
(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



A. 田间艾叶连片被菊方翅网蝽侵害;B、C. 成虫和若虫群集在蕲艾叶片正面和背面;D. 受菊芳翅网蝽不同侵染程度的艾叶(从上到下分别为受害初期、受害中期、受害后期);E、F. 未受侵染艾叶;G、H. 受害初期的艾叶;I、J. 受害中期的艾叶;K、L. 受害后期的艾叶。

图 1　蕲艾叶片被菊方翅网蝽为害状及显微表型

Fig. 1　Appearance and microscopic phenotype of *Artemisia argyi* leaves infested by *Corythucha marmorata*



A、B. 未被侵害的艾叶;C、D. 受害初期的艾叶;E、F. 受害中期的艾叶;G、H. 受害后期的艾叶。

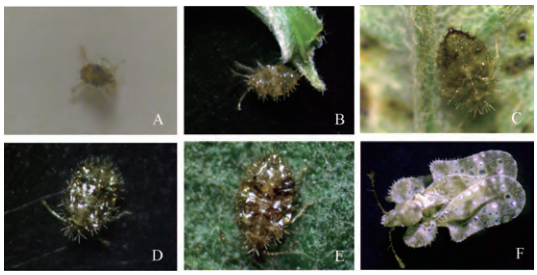
图 2　扫描电镜下观察不同侵害程度下艾叶

Fig. 2　Scanning electron microscopy images of *Artemisia argyi* leaves at different phases of infestation

成虫足和触角浅黄色,足第 2 跗节端部黑褐色,头兜、纵脊、侧背板及前翅网室乳白色、半透明或不透明,多具网状褐斑;头、胸部两侧及腹面密被白色粉被,通体淡黄色,虫体扁平,长翅形,头部和腹面黑褐色;成虫盔状头兜发达且突出,部分比侧板略大;前翅延伸覆盖至虫体腹部末端,且翅前缘基部呈上卷

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

状外突,翅近长方形,翅上有黄白,腿节不加粗;中纵脊、侧纵脊及前翅上密布小翅,刺突明显(图 3F)。



A~E. 菊方翅网蝽若虫时期形态变化;F. 菊方翅网蝽成虫形态。

图 3　菊方翅网蝽形态特征

Fig. 3　Morphological features of *Corythucha marmorata*

提取菊方翅网蝽 DNA 进行分子鉴定,测序结果在 NCBI 数据库中进行搜索比对发现,样品(AY-1)与网蝽科的 CO Ⅰ 基因同源性为 99.85%。为进一步确定该虫所属物种,选取网蝽属线粒体 CO Ⅰ 序列,采用邻接法构建了发育树。进化树结果显示,送检样本 AY-1 与菊方翅网蝽聚集在一起,与核桃网蝽以及悬铃木方翅网蝽形成明显分支,系统进化树树形图分布良好,说明 AY-1 与核桃网蝽亲缘关系较远,而与菊方翅网蝽的亲缘关系更近,因此作者将其鉴定为菊方翅网蝽(图 4)。

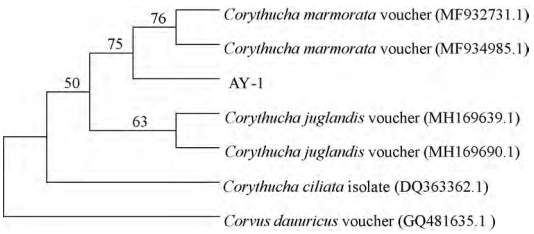


图 4　基于 CO Ⅰ 基因构建的系统进化树

Fig. 4　Phylogenetic tree built based on CO Ⅰ genes

2.3　菊方翅网蝽在蕲艾上的成灾规律调查

菊方翅网蝽为方翅网蝽科的一种,网蝽科昆虫常生活在寄生植物上,在湖北中医药大学药用植物园的菊芋 *Helianthus tuberosus*、樱花树 *Prunus* subg. *Cerasus* sp. 等植物上都发现了方翅网蝽;方翅网蝽常在叶背栖息、取食,少数种类栖息在树干的树皮缝隙,有群集习性,叶片背面可见大量若虫聚集。调研发现,蕲艾上菊方翅网蝽的若虫活动迟缓,成虫相对若虫爬行速度较快。其若虫体积小,整体颜色为半透明的棕黄色,观察发现当其取食艾叶后,腹部透绿,笔者对其进行解剖后发现绿色为肠器中的艾叶残渣,故其在艾叶上的滞留不易被发现,往往艾叶被取食后的叶片颜色偏黄,导致菊方翅网蝽在艾叶上更加隐蔽。这些生物学特性都有利于其种群的增长。该虫容易在高温干旱天气下容易发生,常在夏季爆发[8]。而艾叶的田间采收期为 5—6 月,故此类虫的爆发对艾叶的产量影响较大。

以湖北黄冈市团风县黄冈市现代农业科技示范园蕲艾基地为观察点,统计为害田块不同方向的害虫基数。调查结果显示,在田块受害最为严重的东北部区域,艾叶上平均虫量为 7.7 头/株;其次是中部区域,艾叶上平均虫量为 4.25 头/株;田块受害最轻的是西南部区域,艾叶上平均虫量为 1.35 头/株(表 1)。说明菊方翅网蝽在受害田块中并不是均匀分布,而是由暴发点向周围扩散,离暴发点越远为害越轻。同时,对其冬季习性的观察结果来看,发现菊方翅网蝽常以成虫在艾叶枯萎卷曲的叶片或枯枝落叶中越冬。

表 1　艾叶受害田块虫害分布情况($\bar{x}\pm s$, $n=3$)

Table 1　Distribution of pests in affected fields of *Artemisia argyi* ($\bar{x}\pm s$, $n=3$)

样点区域	平均每株虫量/头
东北部	7.70±0.61a
中部	4.25±0.90b
西北部	2.40±0.77bc
西南部	1.35±0.33c
东南部	2.75±0.45bc

注:差异显著性检验为 LSD 法,同列不同小写字母表示差异显著,$P<0.05$(表 2、3 同)。

2.4　菊方翅网蝽对艾叶有效成分含量的影响

2.4.1　菊方翅网蝽对艾叶挥发油成分影响分析

艾叶的挥发油成分包括醇类、醛类、酮类、酸类、酯类、酚类、碳氢类、含氮化合物、杂氧化合物等,将未受害艾叶和受害艾叶中的挥发油组分进行对比,结果表明存在明显差异。未受害艾叶中检出组分 68 种,受害艾叶中检出组分 52 种(表 2),其中未受侵害的艾叶中烷烃的种类为 10 种,质量分数为 17.65%,受侵害的艾叶中烷烃的种类为 4 种,质量分数为 17.34%;未受侵害的艾叶中烯烃的种类为 11 种,质量分数为 25.93%,受侵害的艾叶中烯烃的种类为 7 种,质量分数为 12.16%;酯、醇、醛和酮类

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

化合物通常是艾叶具有香气的主要原因,未受侵害艾叶中酯类质量分数 1.79%,受侵害艾叶中含 2.5%;未受侵害艾叶中醇类质量分数 27.91%,受侵害艾叶中含 34.64%;未受侵害艾叶中醛类仅 1 种为 2-亚乙基-6-甲基-3,5-庚二烯醛,占 0.11%,受侵害艾叶中含 1.59%;未受侵害艾叶中酮类质量分数 20.45%,受侵害艾叶中含 25.25%;但在受害艾叶中检出酸类化合物,从以上结果得出,在艾叶受菊方翅网蝽侵害后挥发油中组分种类减少,碳氢类化合物含量减少,而酯、醇、醛和酮类化合物含量增高。

表 2　未受菊方翅网蝽侵害艾叶与受菊方翅网蝽侵害 3 个月艾叶 GC-MS 结果对比

Table 2　Comparison of GC-MS results of *Artemisia argyi* leaves uninfested and infested with *Corythucha marmorata* for three months

No.	t_R /min	化合物中英文名称	相对质量分数/%	
			未受害	受害(3 个月)
1	8.77	2,5,5-trimethyl-1,3,6-heptatriene(2,5,5-三甲基-1,3,6-庚三烯)	0.25	1.09
2	9.00	(1*S*)-2,6,6-trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene(左旋-α-蒎烯)	0.47	ND
3	9.01	methyl 8,11,14,17-eicosatetraenoate(二十碳四烯酸甲酯)	0.33	ND
4	9.02	α-pinene(α-蒎烯)	0.15	0.15
5	9.30	camphene(莰烯)	0.18	0.31
6	9.32	*cis*-*Z*-α-bisabolene epoxide(顺式-*Z*-α-没药烯环氧化物)	0.29	ND
7	9.99	1-octen-3-ol(1-辛烯-3-醇)	0.87	1.00
8	10.20	(*E*)-2,5,5-trimethyl-3,6-heptadien-2-ol[(*E*)-2,5,5-三甲基-3,6-庚二烯-2-醇]	ND	0.23
9	10.48	3,3,6-trimethyl-1,4-heptadien-6-ol(3,3,6-三甲基-1,4-庚二烯-6-醇)	4.34	9.80
10	10.90	*o*-cymene(邻伞花素)	0.93	0.65
11	11.18	eucalyptol(桉油精)	15.93	16.67
12	11.57	(*S*)-2,5-dimethyl-3-vinylhex-4-en-2-ol[(*S*)-2,5-二甲基-3-乙烯基-4-己烯-2-醇]	0.11	ND
13	11.88	3,3,6-trimethyl-1,5-heptadien-4-one(3,3,6-三甲基-1,5-庚二烯-4-酮)	18.36	20.79
14	12.00	(Z)-2-methyl-2-penten-1-ol(2-甲基-2-戊烯-1-醇乙酸酯)	ND	0.16
15	12.05	*cis*-1-methyl-4-(1-methylethenyl)-cyclohexanol[顺-1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)环己醇]	0.57	0.17
16	12.44	geraniol(香叶醇)	9.74	15.92
17	12.83	nondndl(壬醛)	ND	0.11
18	12.86	2,2,3-trimethyl-oxetane(2,2,3-三甲基-环氧丙烷)	0.15	ND
19	13.00	2-methylene-4,8,8-trimethyl-4-vinyl-bicyclo[5.2.0]nondne(4,8,8-三甲基-2-亚甲基-4-乙烯基二环[5.2.0]壬烷)	0.16	ND
20	13.01	phenylethyl alcohol(β-苯乙醇)	0.12	0.10
21	13.03	*o*-menthan-8-ol(邻-薄荷烷-8-醇)	0.17	0.63
22	13.13	3-methylene-nondne(3-亚甲基-壬烷)	ND	0.17
23	13.21	4-isopropyl-1-methylcyclohex-2-enol(4-异丙基-1-甲基环己基-2-烯醇)	0.44	ND
24	13.23	2,6-dimethyl-1,7-octadien-3-ol(2,6-二甲基-1,7-辛二烯-3-醇)	ND	0.29
25	13.24	3,3-dimethyl-4-heptanol(3,3-二甲基-4-正庚醇)	0.10	0.15
26	13.62	decamethyl-cyclopentasiloxane(环五聚二甲基硅氧烷)	0.20	0.30
27	13.73	(1*R*-*cis*)-1-(1,2,2,3-tetramethylcyclopentyl)-ethanone[(1*R*-顺)-1-(1,2,2,3-四甲基乙二胺)-联苯乙酮]	0.29	0.56
28	13.87	(1*S*)-1,7,7-trimethyl-bicyclo[2.2.1]heptan-2-one[(1*S*)-1,7,7-三甲基-双环[2.2.1]正庚烷-2-酮]	0.99	1.56
29	14.27	(*S*)-3,3,6-trimethylhepta-1,5-dien-4-yl acetate[(*S*)-3,3,6-三甲基庚-1,5-二烯-4-乙酸酯]	0.18	1.91
30	14.61	endo-borneol(龙脑)	1.47	3.21
31	14.67	terpinen-4-ol(松油酯)	1.99	3.21
32	14.81	*m*-cymen-8-ol(间-伞花-8-醇)	ND	0.11
33	15.10	terpineol(松油醇)	1.16	0.48
34	15.19	(-)-myrtenol[(-)-桃金娘烯醇]	0.11	0.10
35	15.25	3-decyn-2-ol (3-十烯-1-醇)	ND	0.10
36	15.71	2,4,4-trimethyl-2-pentendl(2,4,4-三甲基-2-戊烯醛)	ND	1.22
37	15.71	3,5-octadien-2-ol(3,5-辛二烯-2-醇)	0.86	ND
38	15.72	3,3-dimethyl-hepta-4,5-dien-2-ol(3,3-二甲-4,5-庚二烯-2-醇)	0.50	ND
39	15.82	2,3,3-trimethyl-2-(4-methylpentanoyl)-cyclopentanone[2,3,3-三甲基-2-(4-甲基戊酸)-环戊酮]	ND	1.31
40	15.85	*trans*-carveol(反式-香苇醇)	1.27	ND
41	15.87	*trans*-3(10)-caren-2-ol[反-3(10)-蒈烯-2-醇]	1.32	1.33
42	16.38	3-methyl-2-butenoic acid, 3-methylbut-2-enyl ester(3-甲基-2-丁烯酸, 3-甲基-2-丁烯乙酸盐)	1.79	2.13

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

续表2

No.	t_R /min	化合物中英文名称	相对质量分数/%	
			未受害	受害(3 个月)
43	16.65	carvone(香芹酮)	0.21	0.28
44	17.14	D-verbenone(马鞭草烯酮)	ND	0.10
45	17.15	4,7,7-trimethylbicyclo[4.1.0]hept-3-en-2-one(4,7,7-三甲基二环[4.1.0]庚-3-烯-5-酮)	0.16	0.12
46	17.19	ascaridole(驱蛔萜)	ND	0.12
47	17.72	4-(1-methylethenyl)-1-cyclohexene-1-carboxaldehyd[4-(1-甲基乙烯基)-1-环己烯-1-甲醛]	ND	0.13
48	18.14	bornyl acetate(乙酸冰片酯)	0.23	0.30
49	18.53	2-ethylidene-6-methyl-3,5-heptadiendl(2-亚乙基-6-甲基-3,5-庚二烯醛)	0.11	0.13
50	19.24	dodecamethyl-cyclohexasiloxane(十二甲基环六硅氧烷)	0.15	ND
51	19.99	*cis*-2-methyl-5-(1-methylvinyl)cyclohex-2-en-1-yl acetate(乙酸香芹酯)	ND	0.13
52	20.81	5-isopropyl-6-methyl-hepta-3,5-dien-2-ol(5-异丙基-6-甲基-3,5-庚二烯-2-醇)	0.64	0.13
53	20.97	5-isopropenyl-2-methyl-7-oxabicyclo[4.1.0]heptan-2-ol(5-异丙烯基-2-甲基-7-氧杂双环[4.1.0]正庚烷-2-醇)	0.32	ND
54	21.03	2-methoxy-3-(2-propenyl)-phenol[2-甲氧基-3-(2-丙烯基)-酚]	0.24	0.32
55	21.19	eugenol(丁香酚)	1.11	ND
56	22.10	α-copaene(α-可巴烯)	0.10	ND
57	22.63	(-)-α-bourbonene[(-)-α-波旁烯]	ND	0.10
58	25.21	caryophyllene(石竹烯)	19.48	5.37
59	26.43	humulene(蛇麻烯)	1.99	0.33
60	27.43	1-isopropenyl-3-propenylcyclopentane(1-异丙烯基-3-异丙酯苯)	ND	0.12
61	28.05	octahydro-1,4,9,9-tetramethyl-1h-3a,7-methanoazulene(绿叶烷)	ND	0.10
62	28.22	germacrene D(大牛儿烯 D)	0.41	ND
63	28.71	β-selinene(β-瑟林烯)	2.59	4.81
64	29.34	ç-elemene(ç-榄香烯)	0.13	ND
65	31.17	(*E*)-3,6-dimethyl-3-(1-methylethyl)-4,6-heptadien-2-one[(*E*)-, 3,6-二甲基-3-(1-甲基乙基)-4,6-庚二烯-2-酮]	0.13	0.53
66	34.69	caryophyllene oxide(石竹素)	0.52	1.95
67	36.85	7-hydroxy-6-methyl-oct-3-enoic acid(7-羟基-6-甲氧基-3-辛烯酸)	0.22	ND
68	36.98	2,6-bis(1,1-dimethylethyl)-4-(1-oxopropyl)phenol[2,6-双(1,1-叔丁基)-4-(1-甲酯)酚]	ND	0.18
69	37.57	isolongifolol(异长叶醇)	0.56	ND
70	39.11	aromadendrene oxide-(2)(香橙烯氧化物 2)	0.44	ND
71	39.48	1-heptatriacotanol(三十七烷醇)	0.92	ND
72	39.93	2-(7-heptadecynyloxy)tetrahydro-2*H*-pyran[2-(7-十七炔氧基)四氢-2*H*-吡喃]	0.20	ND
73	40.90	2-methyl-1-hexadecanol(2-甲基-1-十六烷醇)	0.15	ND
74	41.11	hexadecamethylheptasiloxane(十六甲基七硅氧烷)	0.52	ND
75	42.17	β-costic acid(β-木香酸)	0.56	ND
76	42.34	3,5,5-trimethyl-hexanoic acid(3,5,5-三甲基己酸)	0.12	ND
77	43.97	neophytadiene(新植二烯)	0.18	ND
78	44.10	2-methyl-eicosane(2-甲基二十烷)	0.15	ND
79	44.17	6,10,14-trimethyl-2-pentadecanone(植酮)	0.31	ND
80	44.87	1,2-benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester(邻苯二甲酸二异丁酯)	0.16	ND
81	45.67	dimethyl palmitamine(二甲基棕榈基胺)	ND	0.24
82	47.18	thunbergol(异瑟模环烯醇)	0.18	ND
83	47.49	docosanoic acid, methyl ester(山嵛酸甲酯)	0.77	ND
84	48.11	2-methyl-nonddecane(2-甲基十九烷)	0.10	ND
85	52.84	methyl estertricosanoic acid(二十三烷酸甲酯)	0.12	ND
86	53.93	2,6,10,15-tetramethyl-heptadecane(2,6,10,15-四甲基十七烷)	0.14	ND

注:ND. 未检出。

2.4.2 菊方翅网蝽对艾叶酚酸和黄酮类成分影响分析　经过菊方翅网蝽侵害后,对艾叶中黄酮和酚酸类含量进行了测定,线性关系分别为 $Y_{新绿原酸}=2.41\times10^7X+6\ 335.70$ ($R^2=0.999\ 4$), $Y_{绿原酸}=3.13\times10^7X-32\ 388.72$ ($R^2=0.999\ 1$), $Y_{隐绿原酸}=2.01\times10^7X-7\ 822.65$ ($R^2=0.999\ 5$), $Y_{异绿原酸B}=3.08\times10^7X-374\ 684.78$ ($R^2=0.999\ 9$), $Y_{异绿原酸A}=7.69\times10^7X-110\ 081.10$ ($R^2=0.999\ 1$), $Y_{高车前素}=5.79\times$

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$10^7X-14\ 974.12$ ($R^2=0.999\ 6$), $Y_{棕矢车菊素}=5.12\times10^7X-24\ 099.12$ ($R^2=0.999\ 3$), $Y_{异泽兰黄素}=5.89\times10^7X-26.42$ ($R^2=0.999\ 9$), $Y_{蔓荆子黄素}=1\ 542.70X-41.43$ ($R^2=0.999\ 7$), $Y_{夏佛塔苷}=2.86\times10^7X-9\ 572.54$ ($R^2=0.999\ 1$)。受侵害后艾叶中的绿原酸、隐绿原酸、异绿原酸 B、异绿原酸 A 的含量分别增加了 23.7%、4.9%、12.5%、15.6%,黄酮类成分高车前素、棕矢车菊素、异泽兰黄素、蔓荆子黄素、夏佛塔苷的含量分别增加 37.3%、70%、66.1%、41.2%、19.1%(图 5)。

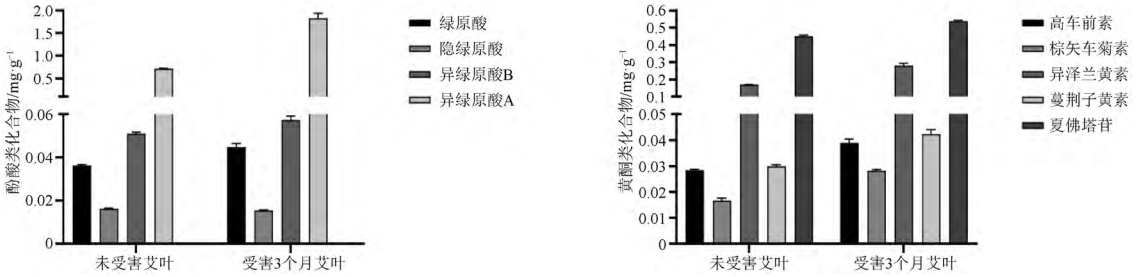


图 5 艾叶受菊方翅网蝽侵害 3 个月后有效成分含量变化($\bar{x}\pm s$, $n=3$)

Fig. 5 Changes in the active ingredient content of *Artemisia argyi* leaves after three months of infestation by *Corythucha marmorata* ($\bar{x}\pm s$, $n=3$)

2.4.3 田间不同受害程度艾叶中有效成分的变化

随着艾叶受危害程度的增加,艾叶中异绿原酸 B、异绿原酸 A 含量都呈现先增加后降低的趋势,同受害初期相比,受害中期异绿原酸 B 含量增加 5.63%,异绿原酸 A 含量增加 26.26%;而绿原酸的含量在受害初中后期没有显著性变化;隐绿原酸含量在受害中后期较初期含量显著增加。对于黄酮类成分而言,艾叶高车前素、棕矢车菊素、异泽兰黄素、蔓荆子黄素都呈先增高后降低的趋势;且同受害初期相比,受害中期其高车前素含量增加 35.00%,棕矢车菊素含量增加 33.33%、异泽兰黄素含量增加 26.44%、蔓荆子黄素含量增加 26.67%;同受害中期相比,受害后期其高车前素含量降低 29.63%,棕矢车菊素含量降低 28.95%、异泽兰黄素含量降低 40.00%、蔓荆子黄素含量降低 42.11%;而夏佛塔苷的各部分含量随着受害程度的增加变化不大(表 3)。随着艾叶受危害程度的增加,艾叶中桉油精、松油酯、石竹素的含量先显著降低后又显著增加;龙脑在受侵害中期相对于初期显著增加了 72.6%,受害后期与中期相比无显著性变化;石竹烯随着受害程度的增加,含量逐渐降低,中期与初期相比降低 29.23%,后期相对于中期降低了 40.46%(表 4)。

表 3 不同受害程度对艾叶中酚酸和黄酮成分含量的变化($\bar{x}\pm s$, $n=3$)

Table 3 Changes in phenolic acid and flavonoid content in *Artemisia argyi* with different damage degrees ($\bar{x}\pm s$, $n=3$) $mg\cdot g^{-1}$

危害时期	绿原酸	隐绿原酸	异绿原酸 B	异绿原酸 A	高车前素	棕矢车菊素	异泽兰黄素	蔓荆子黄素	夏佛塔苷
初期	2.90±0.07a	0.67±0.01b	3.52±0.01b	6.36±0.03b	0.20±0.01b	0.57±0.02b	1.74±0.10b	0.15±0.01b	0.27±0a
中期	2.59±0.04b	0.85±0.01a	3.73±0.04a	8.03±0.13a	0.27±0a	0.76±0.01a	2.20±0.03a	0.19±0a	0.26±0.01a
后期	2.82±0.10ab	0.90±0.02a	3.32±0.06c	5.41±0.11c	0.19±0b	0.54±0.01b	1.32±0.01c	0.11±0c	0.26±0.01a

表 4 不同受害程度艾叶中挥发性成分含量($\bar{x}\pm s$, $n=3$)

Table 4 Relative content of volatile components in *Artemisia argyi* with different damage degrees ($\bar{x}\pm s$, $n=3$) %

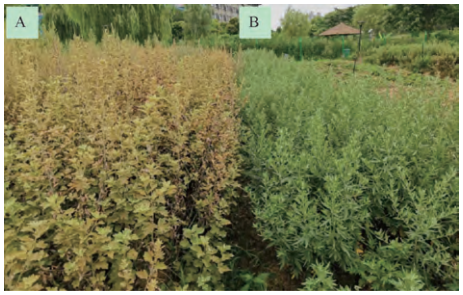
危害时期	桉油精	龙脑	松油酯	石竹烯	石竹素
初期	13.65±0.32b	1.46±0.04b	2.66±0.05b	16.66±0.15a	1.71±0.04b
中期	8.61±0.20c	2.52±0.07a	1.85±0.03c	11.79±0.33b	1.54±0.04c
后期	16.52±0.09a	2.56±0.16a	3.18±0.09a	7.02±0.50c	1.97±0.05a

2.5 不同艾叶资源对菊方翅网蝽产生的抗性差异

5—8 月为菊方翅网蝽的集中暴发期,2022 年 6 月在湖北中医药大学药用植物园的艾叶资源圃中观察到(图 6),在被菊方翅网蝽侵害的同一块田地中,

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

不同艾叶资源受菊方翅网蝽的侵害程度有很大差异,左右侧分别为不同品种,右侧艾叶依旧呈饱满的绿色,左侧艾叶被网蝽吸食汁液已经整体变得枯黄。说明艾叶中存在对菊方翅网蝽的抗性种质,其产生抗性的相关机制还需要进一步研究。



A. 受菊方翅网蝽侵害的艾叶品种;B. 抗菊方翅网蝽的艾叶品种。

图 6　不同艾叶资源对菊方翅网蝽产生的抗性差异

Fig. 6　Differences in resistance of different *Artemisia argyi* varieties to *Corythucha marmorata*

3　小结与讨论

本研究为首次在艾叶上发现外来入侵害虫并观察鉴定其为菊方翅网蝽。作者又对受菊方翅网蝽危害的叶片进行了观察与含量测定,得出菊方翅网蝽对艾叶品质有较大的影响,本研究对提高艾叶的生产质量有重要参考作用。

在人们的传统观念中,艾叶为驱虫的良药,甚至在传统民俗中,艾叶可以辟邪及蛇虫之害[9]。继在艾叶上发现蚜虫、天牛等害虫后,又发现了菊方翅网蝽也可以对其进行侵害,并对艾叶的药用价值也产生了较为严重的影响,特别是在被严重侵害后,艾叶叶片呈现失绿、枯黄,进而导致叶片变为棕色坏死,加速叶片枯萎,使其生长周期变短,受害叶片在体视镜和扫描电镜观察下显示叶肉组织受破坏严重,非腺毛杂乱,部分腺毛也被包裹破坏,严重影响了艾叶的产量、质量以及其挥发油含量,影响了艾绒、艾条的生产[10]。

研究表明,植物在遭受虫害攻击后,会产生各种各样的次生代谢物来抵御侵害[11]。例如绿原酸对于假眼小绿叶蝉的存活率具有一定的抑制作用[12]。同时绿原酸也被证实对谷实夜蛾有毒害作用[13]。张华峰等[14]研究发现,植物组织受到伤害时会形成黄酮等防御物质,并对昆虫的发生有一定的抑制作用,可以影响它们的生长繁殖并影响它们的取食行为,或进行应激代谢分泌从而引起昆虫中毒甚至死亡。研究表明,悬铃木方翅网蝽为害后,悬铃木叶片中酚酸和黄酮含量随着受害程度的加剧出现先上升后下降的变化趋势[15]。作为挥发性次生代谢物的主要成分之一,萜烯类物质也具有杀虫、趋避等作用[16]。前人发现黄精种子中的石竹烯对棉蚜有显著的趋避功能[17]。本文对正常健康的艾叶进行了为期 3 个月的菊方翅网蝽的为害处理,发现在艾叶受到虫害处理后,挥发性成分的种类变少,但各成分相较于未处理组占比增高,而处理组黄酮和酚酸类成分的含量也有升高;进一步对田间有菊方翅网蝽受害症状的艾叶进行采集,对不同程度虫害侵染的艾叶的黄酮类、酚酸类含量进行了测定,结果表明新绿原酸、隐绿原酸、异绿原酸 B、异绿原酸 A、高车前素、棕矢车菊素、异泽兰黄素、棕矢车菊素等有效成分在受害中期含量最高,而在艾叶受菊方翅网蝽为害严重的后期桉油精、龙脑、松油酯、石竹素的含量显著提高,这些结果说明菊方翅网蝽取食艾叶后,导致有效成分以及挥发油含量发生变化,可能是在受侵害后艾叶的免疫反应被激活,从而来抵御侵害[18]。然而,关于菊方翅网蝽取食艾叶后导致艾叶次生代谢产物发生变化的机制还需要进一步研究。当遇到严重的昆虫侵害时,一些植物有能力防止、抵御或修复损害。在相同的害虫数量和环境条件下,一个作物品种比其他种类提供更高质量产量的能力,即为有抗虫性。研究中观察到部分品种艾叶对菊方翅网蝽有抗虫性,此种抗性产生的原因可能与不同品种艾叶在未遭受昆虫危害就持续表达的对害虫物理和化学的特殊防御因子,或艾叶感受到菊方翅网蝽危害的信号,然后将信号传递到细胞和细胞核内,启动植物防御基因的表达,合成防御物质有关[19],不同品种艾叶对菊方翅网蝽产生抗性的生理生化机制还需后续研究探索。

王志华等[20]对不同杀虫剂对菊方翅网蝽的防治效果进行了评价,得出 100 $g \cdot L^{-1}$ 联苯菊酯乳油、10%啶虫脒微乳剂和 40%毒死蜱乳油对菊方翅网蝽有较好的防效,而于室外防治而言,总体推荐 10%啶虫脒对菊方翅网蝽进行消灭和防治。啶虫脒作为一种新型烟碱类杀虫剂,通过神经系统突触后膜的烟碱乙酰胆碱受体对虫体起作用,而有病例显示,啶虫脒对人体健康的危害较大,一旦中毒可导致呕吐恶心、器官功能衰竭等伤害[21];与普通的化学农药

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

相比,植物源农药从植物中提取来源于自然,在施用后较易分解,对环境无污染或污染程度低,还具有调节植物生长、诱导免疫、肥效、保鲜等方面的作用[22],本研究在试用了鱼藤酮、除虫菊酯、苦皮藤素、苦参碱等植物源农药进行防效调查后,均未能取得理想防治效果,后续仍需进一步寻找更加优质的杀虫剂,并在农业生产中进行推广。而目前,可以通过选育抗性品种,增强作物自身对虫害的抵抗力,科学施肥、合理灌溉或采用物理防治,利用电离辐射或者紫外线辐照等方式达到防虫目的[23]。

[参考文献]

[1] KATO A, OHBAYASHI N. Habitat expansion of an exotic lace bug, *Corythucha marmorata* (Uhler) (Hemiptera: Tingidae), on the Kii Peninsula and Shikoku island in western Japan[J]. Entomol Sci, 2009, 12(2): 130.

[2] 党凯, 高磊, 朱瑾. 菊方翅网蝽在中国首次记述(半翅目,网蝽科)[J]. 动物分类学报, 2012, 37(4): 894.

[3] 陈昌婕, 罗丹丹, 苗玉焕, 等. 不同艾种质资源叶片品质的分析与评价[J]. 中国实验方剂学杂志, 2021, 27(9): 129.

[4] 陈昌婕, 苗玉焕, 方艳, 等. 不同艾种质资源矿质元素含量及其与品质的关系[J]. 中国中药杂志, 2022, 47(4): 880.

[5] 陈昌婕, 马琳, 苗玉焕, 等. 磷肥施用量对蕲艾生长和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(8): 1420.

[6] 陈昌婕, 罗丹丹, 苗玉焕, 等. 艾种质资源挥发性成分分析与评价[J]. 中国中药杂志, 2021, 46(15): 3814.

[7] 罗丹丹, 彭华胜, 康利平, 等. 宽叶山蒿与艾不同部位叶片腺毛和非腺毛形态特征比较研究[J]. 中国中药杂志, 2021, 46(13): 3319.

[8] 王志华, 董立坤, 于静亚, 等. 外来入侵害虫菊方翅网蝽生物学特性研究[C]. 济南:中国风景园林学会植物保护专业委员会第二十八次学术研讨会, 2019.

[9] 郑汉臣, 魏道智, 黄宝康, 等. 艾叶的民俗应用与现代研究[J]. 中国医学生物技术应用, 2003(3): 26.

[10] 杨珂, 黄显章, 王利丽, 等. 基于扫描电镜技术观察不同产地艾叶表面特征[J]. 电子显微学报, 2020, 39(2): 173.

[11] AGATHOKLEOUS E, BENELLI G, GUEDES R N C. Plant-pest interactions under the microscope of chemical hormesis[J]. Trends Plant Sci, 2022, doi:10.1016/j.tplants.2022.09.006.

[12] JIN S, CHEN Z M, BACKUS E A, et al. Characterization of EPG waveforms for the tea green leafhopper, *Empoasca vitis* Göthe (Hemiptera: Cicadellidae), on tea plants and their correlation with stylet activities[J]. J Insect Physiol, 2012, 58(9): 1235.

[13] SZALMA S J, BUCKLER E S, SNOOK M E, et al. Association analysis of candidate genes for maysin and chlorogenic acid accumulation in maize silks[J]. Theor Appl Genet, 2005, 110(7): 1324.

[14] 张华峰, 陈顺立, 朱建华, 等. 松墨天牛为害对马尾松针叶化学成分的影响[J]. 福建林学院学报, 2004, 24(1): 28.

[15] 凌梦沁. 悬铃木方翅网蝽取食诱导寄主的防御反应[D]. 南京:南京林业大学, 2015.

[16] GOVINDARAJAN M, BENELLI G. Facile biosynthesis of silver nanoparticles using *Barleria cristata*: mosquitocidal potential and biotoxicity on three non-target aquatic organisms[J]. Parasitol Res, 2016, 115(3): 925.

[17] SMITH W E C, SHIVAJI R, WILLIAMS W P, et al. A maize line resistant to herbivory constitutively releases (*E*)-*β*-caryophyllene[J]. J Econ Entomol, 2012, 105(1): 120.

[18] HEIL M, LION U, BOLAND W. Defense-inducing volatiles: in search of the active motif[J]. J Chem Ecol, 2008, 34(5): 601.

[19] ERB M, REYMOND P. Molecular interactions between plants and insect herbivores[J]. Annu Rev Plant Biol, 2019, 70(1): 527.

[20] 王志华, 于静亚, 沈锦, 等. 不同杀虫剂对外来入侵害虫菊方翅网蝽的毒力测定及防治效果[J]. 农药, 2019, 58(2): 136.

[21] XING P, XU J, LI L, et al. Acute severe multiorgan dysfunction syndrome with oral acetamiprid poisoning[J]. J Formos Med Assoc, 2017, 116(2): 131.

[22] 杨欣蕊, 廖艳凤, 赵鹏飞, 等. 植物源农药及其开发利用研究进展[J]. 南方农业, 2022, 16(11): 33.

[23] 郑钧, 陈天毅. 农作物病虫害的综合防治措施[J]. 现代农业科技, 2011(22): 202.

[责任编辑　吕冬梅]

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net