

DOI: 10.20103/j.stxb.202307031426

曹原, 韩善捷, 李捷, 黄光政, 韩宝瑜, 王梦馨. 花期杭白菊植株引诱菊小长管蚜的嗅觉和视觉线索及应用. 生态学报, 2024, 44(6): 2609-2620.

Cao Y, Han S J, Li J, Huang G Z, Han B Y, Wang M X. Chemical and visual cues from *Chrysanthemum morifolium* cultivar 'Hangbaiju' plant to attract *Macrosiphoniella sanborni* during its blooming stage and their application against the aphid. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(6): 2609-2620.

花期杭白菊植株引诱菊小长管蚜的嗅觉和视觉线索及应用

曹 原¹, 韩善捷^{1, 2}, 李 捷¹, 黄光政¹, 韩宝瑜¹, 王梦馨^{1, *}

1 中国计量大学生命科学学院, 浙江省生物计量与检验检疫技术重点实验室, 杭州 310018

2 杭州茶菊科技有限公司, 杭州 310018

摘要: 杭白菊是一类顶级的茶用菊, 原产地是浙江省桐乡市。菊小长管蚜 *Macrosiphoniella sanborni* 是菊属植物重要害虫, 常常在花期觅食于花上和匿于花内, 随着菊花采摘、加工而残留在菊花产品中。冲饮菊花茶过程中, 蚜尸或肢体就浮现在菊花茶汤中, 致饮者“倒胃口”。为揭示该蚜嗜好花朵原因和研制有效的防控手段以便在花期控制该蚜, 分离鉴定了花期杭白菊植株的 36 种挥发性化合物, 挑选其中含量大的、主要的 17 种用作味源, 对该蚜做行为测定。发现 α -蒎烯、反-2-己烯醛、(+)-4-萹烯、顺-3-己烯乙酯、顺式- β -罗勒烯、 γ -萹品烯、或者 1-辛烯-3-乙酯 7 种成分的 10^{-4} g/mL 的正己烷溶液显著地吸引该蚜雌、雄成蚜。依次将该 7 种成分的每种 10^{-2} g/mL 正己烷溶液与蚜虫性信息素芥芥内酯的 10^{-4} g/mL 正己烷溶液按照 60:10:10:2:2:20:2:1 体积比配制成复合型蚜虫引诱剂, 在菊园中与专利产品蚜虫引诱剂比较诱效, 结果表明前者对于该蚜更具有引诱力。此外, 在杭白菊园进行的该蚜趋色行为测定中, 测得菊花黄对该蚜诱效稍强于芽绿色。随后, 将每块菊花黄粘板附 1 个复合型蚜虫引诱剂诱芯, 组成 1 个诱捕器, 在杭白菊花期的菊园放置相互间距 7 m $\times$ 8 m 的诱捕器诱杀成蚜。结果证实: 不仅每个诱捕器诱杀了大量菊小长管蚜成虫, 而且诱捕器的防效优于吡虫啉药液。认为: 花期杭白菊植株的主要挥发性化合物和花朵上雌蚜释放的性信息素(嗅觉线索)与菊花的黄色(视觉线索)叠加引诱了菊小长管蚜; 研制的载有复合型蚜虫引诱剂的菊花黄粘板可用作花期有效诱杀菊小长管蚜的手段。

关键词: 杭白菊; 开花期; 菊小长管蚜; 嗅觉和视觉线索; 诱杀

Chemical and visual cues from *Chrysanthemum morifolium* cultivar 'Hangbaiju' plant to attract *Macrosiphoniella sanborni* during its blooming stage and their application against the aphid

CAO Yuan¹, HAN Shanjie^{1, 2}, LI Jie¹, HUANG Guangzheng¹, HAN Baoyu¹, WANG Mengxin^{1, *}

1 Zhejiang Provincial Key Laboratory of Biometrology and Inspection and Quarantine, College of Life Sciences, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China

2 Hangzhou Tea & Chrysanthemum Technology Co. Ltd., Hangzhou 310018, China

Abstract: *Chrysanthemum morifolium* cultivar 'Hangbaiju' topped chrysanthemum teas, originated from Tongxiang City of Zhejiang Province. The aphid *Macrosiphoniella sanborni* (Gillette) is a special pest of chrysanthemum plants that often pierces and sucks the blooming flowers or hides in the flowers, and can be easily harvested with the flowers and remained in the processed chrysanthemum tea products. When the chrysanthemum tea was brewed, the aphid corpses would emerge into tea soup, which caused the drinkers off their appetite. In order to reveal the reasons for the aphid to prefer chrysanthemum

基金项目: 浙江省重点研发计划项目(2020C02026); 浙江省属高校基本科研业务费专项资金资助项目(2021YW41)

收稿日期: 2023-07-03; **网络出版日期:** 2023-12-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wmx@cjl.u.edu.cn

flowers, and develop the effective green control agents used in blooming duration against the aphid, we collected and identified thirty-six volatile compounds from the blooming chrysanthemum plants, of which seventeen major components were used as odor sources for behavioral assays on the aphid. The results showed that *α*-pinene, *E*-2-hexenal, (+)-4-carene, *Z*-3-hexenyl acetate, *cis*- β -ocimene, and γ -terpinene or 1-octen-3-yl-acetate at 10^{-4} g/mL in hexane significantly attracted the aphid adults. These seven solutions, each at dosage of 10^{-2} g/mL, in turn were mixed with a nepetalactone hexane solution at 10^{-4} g/mL at a volume ratio of 60:10:10:2:2:20:2:1 as a complex aphid sexual attractant, which compared with patented product, an aphid attractant, on the efficacy to trap the aphid adults, with the former being better. In addition, the phototaxis behavioral trials in chrysanthemum fields showed that the trapping efficacy of chrysanthemum yellow sticky boards on the aphid was slightly excelled that of bud green sticky boards. During the process of trapping aphids at blooming stage, one chrysanthemum yellow sticky board was baited with one complex aphid sexual attractant lure to build into one trap, one trap hanged from one bamboo stick with its bottom side 1 cm above chrysanthemum plant top, and the stick was inserted into chrysanthemum row. The distance among traps was $7\text{m} \times 8\text{m}$ apart from each other. The chrysanthemum yellow sticky boards each baited with a complex aphid sexual attractant lure caught a large number of the aphid adults in the chrysanthemum fields and their control effect on the aphid population was significantly superior to that of spraying imidacloprid. It was thought that the combination of the major volatiles from the chrysanthemum plants and sex pheromones emitted from female aphids (olfactory cue) with the yellow color (visual cue) of the chrysanthemum pistils and petals strongly attracted the aphids during the blooming period. Furthermore, the complex aphid sexual attractant-baited chrysanthemum yellow sticky traps could be used as an effective environmental sound measure to combat the aphid during the blooming period.

Key Words: *Chrysanthemum morifolium* cultivar ‘Hangbaiju’; blooming period; *Macrosiphoniella sanborni* Gillette; chemical and visual cues; attract and kill

杭白菊 *Chrysanthemum morifolium* cultivar ‘Hangbaiju’ 是浙江省著名传统中药“浙八味”之一, 生性寒、滋味稍甘又略带微苦, 具有清热、护肝、明目、祛毒和消炎的药理功效。其作为茶用菊, 花瓣洁白如玉, 幽香淡雅, 回味甘甜, 花型美丽。历史上曾与西湖龙井茶相媲美, 已批准为国家地理标志农产品, 原产地是浙江省桐乡市。然而, 杭白菊病虫害还是比较严重的, 已记载 60 多种^[1-9]。近些年来发现花期的杭白菊植株招引大量菊蚜。菊蚜嗜好菊花花朵, 它们在花上觅食或匿于花朵内, 部分蚜虫随着菊花的采摘进入加工环节, 残留于菊花产品中。每当开水冲泡菊花茶时, 蚜尸或残肢就浮现于菊花茶汤中, 导致饮者“倒胃口”, 而影响杭白菊产品品质和市场售价。有些菊农们就在花期高剂量施药治蚜, 常常会导致杭白菊农残超标。菊蚜因而成了杭白菊产业的重要限制因子之一。菊蚜包括菊小长管蚜 *Macrosiphoniella sanborni* Gillette, 棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 和桃蚜 *Myzus persicae* Sulzer^[1-3, 6-8]。菊小长管蚜是菊属 *Chrysanthemum* 植物专化性害虫^[1, 6-9], 春、夏、秋生长季节在菊株上为害, 冬季在菊株上越冬。尤其是杭白菊花期该蚜对于菊花花朵的嗜好和滞留给杭白菊产业带来消极影响, 目前仍缺乏有效防控手段。

现阶段, 化学防治仍是防治蚜虫类害虫的主要手段^[8-11]。事实上, 对于饮料作物病虫而言, 施药防治滞留于菊花花朵上的菊蚜、取食幼嫩茶梢的茶蚜易于造成菊花茶、茶产品农残超标, 影响健康饮用。业界认为菊花花朵、茶梢分别是加工菊花茶、茶产品的原料, 菊园、茶园使用的农药品种约 70% 是水溶性的, 开水沏泡菊花茶、茶产品过程中, 约 70% 的农残进入菊花茶汤、茶产品汤中。可以施用虫生真菌制剂治蚜^[12], 利用食蚜蝇等天敌昆虫治蚜^[13], 但在菊园中甚少报道。小范围施用蚜虫性诱剂、植物源引诱剂诱杀蚜虫有报道^[14-16], 黄板诱蚜^[17]一直在探讨。因此, 菊花、茶树等饮料作物上的蚜虫难以防治。本组发明了茶蚜 *Toxoptera aurantii* Boyer 的一种植物源引诱剂^[18], 对于生长季节的有翅蚜和深秋的性蚜都有良好防控效果。寄主茶树的挥发物与茶树嫩梢色彩的组合也显著地吸引茶蚜^[17]。杭白菊花期一般从 10 月下旬—12 月初, 也是性蚜分化时节, 成批的雌蚜也会分泌性信息素诱来雄蚜。化学信息物质等嗅觉因子、以及色彩、形状、尺寸和其它可视因子是

昆虫搜寻寄主的关键线索^[19-22],而嗅觉因子与视觉因子的恰当组合对于昆虫更具有引诱力^[22]。本研究旨在探明在杭白菊花期,菊花植株招引菊小长管蚜的嗅觉和视觉机制,基于该机制研发环境友好的绿色防控手段用于菊小长管蚜的治理。

1 材料与方法

1.1 花期杭白菊植株挥发性化合物的收集鉴定

参照文献^[23]收集挥发物的试验程序并稍做修改。在 2020 年 10 月 30 日,剪取 15 cm 长、质量约 20 g、着生 8 朵菊花的 1 支菊株,切口用浸了蒸馏水的棉球保湿,立即置于顶空动态采气系统。该系统主要部件是直径 10 cm、体积 10 L 的玻璃筒,玻璃筒从中央分为 2 个部分,以玻璃磨口密接或拆开。每半个玻璃筒部分连着 1 个玻璃管,长 5 cm、内径 7 mm,作为进气口或出气口。滤过的清洁空气以 100 mL/min 的流量从进气口导入,出气口依次联接含 Porapak Q 150 mg 的吸附柱、流量计和真空泵。进气口内气体流速略高于出气口内气体流速,以阻止周围环境中未过滤的空气进入玻璃筒(图 1)。

抽气 1 h,取下 Porapak Q 吸附柱,用 600 μ L 色谱纯二氯甲烷淋洗,洗脱液接入 1.5 mL 棕色小瓶中,加 20 μ L 10^{-4} g/mL 癸酸乙酯作为内标,混匀。用高纯氮气流缓缓吹扫至 20 μ L 左右,吸取 1 μ L 注入气-质联用仪进行分析。

气-质联用仪为气相色谱 GC6890A 联质谱仪 MSD6975,美国安捷伦公司生产。色谱柱是 HP-5MS 石英毛细管柱,长 30.0 m,内径 250 μ m,壁内膜厚 0.25 μ m。99.99% 高纯氮气作为载气,流速 1.0 mL/min。进样方式为无分流进样。溶剂延迟 3 min。进样口温度 250 $^{\circ}$ C,GC 与 MS 接口温度 280 $^{\circ}$ C。采用程序升温,先在 50 $^{\circ}$ C 保温 1 min,以 3.5 $^{\circ}$ C/min 升至 120 $^{\circ}$ C,再以 2.0 $^{\circ}$ C/min 升至 140 $^{\circ}$ C,以 3.5 $^{\circ}$ C/min 升至 190 $^{\circ}$ C,在 190 $^{\circ}$ C 保持 1 min。该 GC-MS 使用电子撞击离子源,离子能 70 eV。使用全扫描,扫描频率 2 Hz。

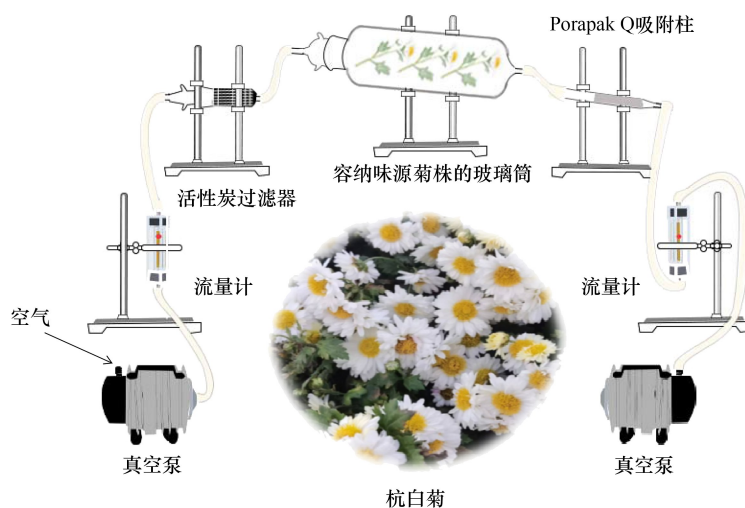


图 1 花期收集菊株挥发物的顶空动态采气系统

Fig.1 Dynamic headspace aeration system for collecting volatiles from chrysanthemum plant during its blooming stage

定性分析:①样品组分的保留时间与可信标准品的保留时间的比较;②样品组分的质谱图与 GC-MS 工作站的 NIST 11.L.中标准化合物的质谱图的比较;③杭白菊和其它植物植株挥发物文献^[23-26]。定量分析:样品每个组分的色谱图峰面积与内标峰面积之比值。

1.2 花期杭白菊植株挥发物对菊小长管蚜引诱效应的室内行为测定

味源:据“1.1”定性定量分析结果,挑选其中相对含量大的 17 种主要组分作为味源,即 α -蒎烯、反-2-己烯醛、(+)-4-萜烯、顺-3-己烯乙酯、顺式- β -罗勒烯、 γ -萜品烯、1-辛烯-3-乙酯、莰烯、 β -蒎烯、 β -月桂烯、反式- β -罗

勒烯、 α -蒎烯、4-甲基-苯甲醇、(±)-2-樟脑、 α -水芹烯、4-甲基-苯丙醇和 α -雪松烯。自 Sigma-Aldrich 公司购得这 17 种组分的化学合成品,纯度 $\geq 99.00\%$,分别溶于正己烷,配成 10^{-4} g/mL 溶液。2 种蚜虫性信息素荆芥醇和荆芥内酯购自 J & K Scientific 公司(北京,中国),纯度 $\geq 97.00\%$,皆配成 10^{-6} g/mL 正己烷溶液。

供试昆虫:2020 年春季种植杭白菊幼苗于中国计量大学菊园,源自桐乡市菊园的菊小长管蚜被引入菊株上培养。秋季花期,取 1 日龄成蚜(不考虑性别)作为供试昆虫,实验前饥饿 0.5 h。

Y-管嗅觉仪及生物测定程序:依据 Wu 等^[27]略作改进,玻璃质地 Y-管嗅觉仪两臂和基部长度都是 10 cm,内径 1.5 cm,两臂之间夹角 120° 。每个臂分别联接味源瓶或 CK 瓶、加湿瓶、活性炭过滤器、流量计。基部开口联接真空泵,用 Teflon 管联接各部件。吸取 1 mL 味源液(或正己烷)至开口的安瓿瓶中,开口安瓿瓶置于味源瓶(或 CK 瓶)。从 Y-管基部开口抽气,保持每臂气体流速是 120 mL/min。测试前 2 min 开始抽气,以保证 Y-管系统流动着来自两臂的稳定的气流。测试时,用指形管将 1 头成蚜从 Y-管基部开口引入。进入之后,蚜虫逆气流螺旋形运动,或向前直行。它摆动触角辨识味源,在两臂交叉处选择进入味源臂或者 CK 臂。在味源臂或者 CK 臂行动 5 cm 的蚜虫个数被记录。如果 >2 min 的时间不运动或者在两臂之间做频繁转换,这样的蚜虫记为无明确选择的个数。1 头蚜虫只用 1 次(图 2)。

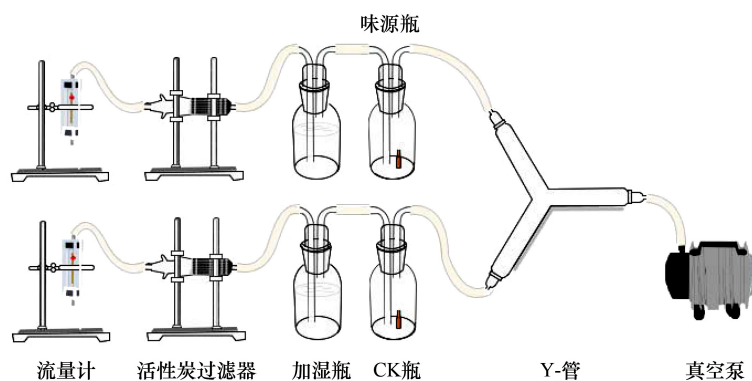


图 2 测定味源对于蚜虫引诱效应的 Y-嗅觉仪系统

Fig.2 Y-tube olfactometer bioassay system for testing attracting of aphids to odor source

每个味源剂量处理重复 4 次,每次使用 20 头蚜虫,每测 10 头之后就用纯乙醇擦洗 Y-管内外壁,烘干,调换味源臂和 CK 臂的联接以消除可能的的位置偏向。1 种味源测试完成后,Y-管、味源瓶、CK 瓶和其它玻璃部件用重铬酸钾洗液清洗,120℃烘干再用。活性炭在烘箱里 100℃鼓风活化 4 h,冷却后密封于玻璃瓶中备用。

生物测定于 09:00—15:00 在实验室内执行,室温 22—28℃,相对湿度 65%—75%,光照 3200—3600 lux。

使用 The DPS® DATA PROCESSING SYSTEM^[28]数据处理系统。如果味源既不吸引又不排斥蚜虫,蚜虫选择味源臂或 CK 臂的概率都是 50%,则有假设测验 $H_0 = 50:50$ 。 χ^2 测验用于检测选择味源臂蚜数与 CK 臂蚜数之间的差异, $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 即两者之间差异达显著和极显著水平。

1.3 菊园中挥发物+色彩引诱菊小长管蚜的行为测定

1.3.1 蚜虫引诱剂和有色粘板的加工

“1.2”行为测定结果表明, α -蒎烯、*E*-2-己烯醛、(+)-4-蒎烯、*cis*-3-己烯乙酯、*cis*- β -罗勒烯、 γ -萜品烯和 1-辛烯-3-乙酯 7 种化合物显著吸引菊小长管蚜成蚜。“1.1”检测结果表明这 7 种成分的相对含量比例近似 60:10:10:2:2:20:2,分别配成 10^{-2} g/mL 正己烷溶液。将蚜虫性信息素荆芥内酯作为第 8 个成分,配成 10^{-4} g/mL 正己烷溶液。依上述次序,将这 8 种正己烷溶液按 60:10:10:2:2:20:2:1 体积比配成复合型蚜虫引诱剂。

再依据本组发明专利^[18],配制蚜虫引诱剂,组成成分为:反-2-己烯醛、顺-3-己烯-1-醇和顺-3-己烯乙酸酯,剂量皆为 10^{-2} g/mL,按照 1:1:1 体积比混配。

试验使用了芽绿粘板(长 40 cm × 宽 20 cm)与菊花黄粘板(长 40 cm × 宽 20 cm)^[29—31],由杭州茶菊科技

有限公司生产。

1.3.2 芽绿粘板和菊花黄粘板引诱菊小长管蚜效应的比较

田间试验 1:2020 年 10 月 30 日在桐乡市农业技术推广中心试验基地选一块面积 667 m²的菊园,随机放置 10 块芽绿粘板和 10 块菊花黄粘板。每块板挂于竹签上,竹签插入菊行。粘板下底边高于菊花顶 5 cm。粘虫板之间相互间距 7—8 m。每隔 24 h 计数 1 次每块板上诱捕的蚜虫数,连续计数 72 h。每天芽绿粘板捕获的蚜数与菊花黄粘板捕获的蚜数之间的差异用 Student' *t*-test 予以检测。

1.田间试验 2:2021 年 10 月 29—31 日,在桐乡市农业技术推广中心试验基地执行与“田间试验 1”一致的试验。

1.3.3 菊园中载有蚜虫引诱剂的菊花黄粘板诱蚜试验

(1)田间试验 3:

① 4 种试验处理的准备:1 mL 的蚜虫复合型引诱剂、蚜虫引诱剂、或者正己烷溶液(见 1.3.1),加入 1 mg 抗氧化剂 2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚(butylated hydroxytoluene,常用缩写 BHT),载于 1 条羊毛毡(4 cm 长×2 cm 宽×0.5 cm 厚)上,接着用聚氯乙烯塑料膜封闭羊毛毡,制成 1 个诱芯,塑料膜厚 100 μm,诱芯贮于-20℃备用。

1 块菊花黄粘板附 1 个蚜虫复合型引诱剂诱芯,组成 1 个诱捕器。按照“田间试验 1”的菊花黄粘板在菊园中放置方法,放置诱捕器诱杀菊小长管蚜。类似地,载有蚜虫引诱剂诱芯的菊花黄粘板、以及载有正己烷诱芯的菊花黄粘板也用于诱杀菊小长管蚜。第 4 个处理则是均匀喷施 10%可湿性吡虫啉粉剂(郑州农化有限公司生产),剂量 10 g/亩。

②试验程序:2021 年杭白菊采花时间 10 月 25 日—11 月 25 日。10 月 14 日从桐乡市选一大片菊园,分为 16 个小区,每个小区面积 1 亩,相近小区间隔 10 m。16 个小区随机分为 4 组处理,亦即蚜虫复合型引诱剂处理、蚜虫引诱剂处理、正己烷处理、吡虫啉处理。

为评估每个小区菊小长管蚜种群密度,在每个小区接近菊花顶部随机扫网 100 次,计数网捕的蚜虫个数。捕虫网由 60 目白细布制成,直径 30 cm,网深 70 cm。同时,用“五点取样法”调查 5 个样方的菊花植株上蚜数,样方大小是 1 m²菊株。为维持诱杀试验前各个小区虫口的均匀性,接着对于这一大片菊园全面均匀喷施 10%可湿性吡虫啉(郑州农化有限公司生产)溶液。

2021 年 10 月 15 日,在每个小区再次使用同样的网捕法和“五点取样法”调查菊小长管蚜个数。

2021 年 10 月 30 日,使用同样的网捕法和“五点取样法”调查每个小区蚜数。随后,在蚜虫复合型引诱剂处理的 4 个小区、蚜虫引诱剂处理的 4 个小区、正己烷处理的 4 个小区分别放置诱捕器,诱捕器之间间距 7 m×8 m。至于吡虫啉处理的 4 个小区,每个小区均匀喷施 10 g 10%吡虫啉粉剂。

2021 年 11 月 14 日,以网捕法和“五点取样法”查得每个小区菊小长管蚜的个数。

2021 年 11 月 29 日,使用网捕法和“五点取样法”查得每小区菊小长管蚜的个数。每个小区的诱芯分别被更换。吡虫啉处理的每个小区再次喷施 10 g 10%吡虫啉粉剂。

此外,在 2021 年 11 月 4 日、9 日、14 日、19 日、24 日和 29 日,每个小区的所有粘板诱捕的蚜虫被计数,更换粘虫板。

2021 年 12 月 6 日下雪。2021 年 12 月 14 日、2022 年 3 月 15 日,用网捕法和“五点取样法”调查每个小区蚜数。

(2)田间试验 4:

试验程序和内容同“田间试验 3”,试验时间不同。

2022 年 10 月 15 日、10 月 16 日、10 月 31 日,2022 年 11 月 15 日、11 月 30 日,2022 年 12 月 15 日,在每个小区以网捕法和“五点取样法”调查菊小长管蚜个数。2022 年 11 月 30 日,先用网捕法和“五点取样法”查得每小区蚜数;再将每个小区的诱芯更换,吡虫啉处理的每个小区喷施 10 g 10%吡虫啉粉剂。

2022 年 11 月 5 日、10 日、15 日、20 日、25 日和 30 日,所用粘板被检测诱蚜个数并被更换。

1.3.4 统计分析

对于 4 种处理的蚜数差异,先用一尾方差分析测验显著性,再用最小显著极差法(LSD)比较各处理之间差异,显著性 $\alpha=0.05$ ^[28]。

2 结果和分析

2.1 花期杭白菊植株挥发性化合物的定性定量分析

花期杭白菊植株挥发物中 36 个成分被鉴定(图 3)。烯类是优势成分,占总挥发物含量 45%,诸如 α -蒎烯、莰烯、 β -蒎烯、 β -月桂烯。其次是酮类,占总挥发物含量 23%。再次是绿叶化合物(表 1)。

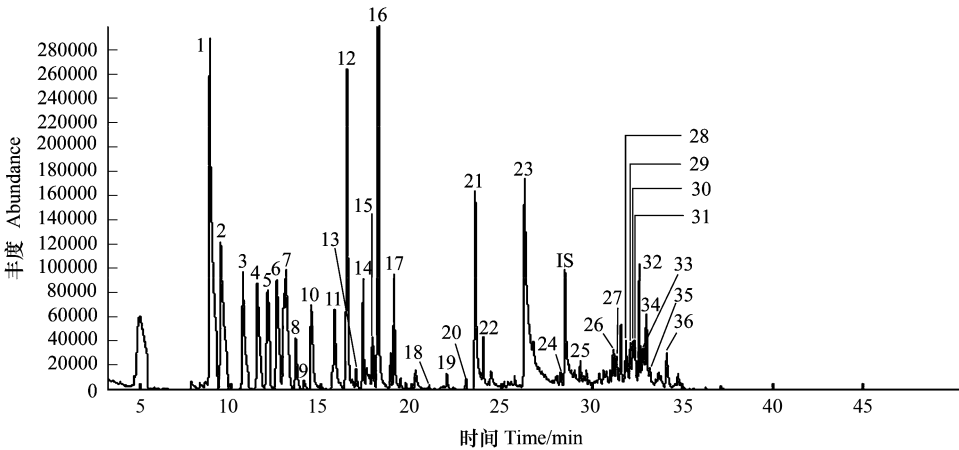


图 3 花期杭白菊植株挥发性化合物的总离子流色谱图

Fig.3 Total ion flow chromatogram of volatiles from chrysanthemum plant during its blooming stage

表 1 花期杭白菊植株挥发性成分及其相对含量

Table 1 Components and their relative content of volatiles from chrysanthemum plant during its blooming stage

序号 No.	CAS 号 CAS number	花期杭白菊植株挥发性成分 Volatile components from chrysanthemum	相对内标含量/% Relative content to internal standard
1	80-56-8	α -蒎烯 <i>a-pinene</i>	5.367
2	79-92-5	莰烯 <i>camphene</i>	2.696
3	127-91-3	β -蒎烯 <i>β-pinene</i>	1.517
4	123-35-3	β -月桂烯 <i>β-myrcene</i>	1.559
5	6728-26-3	反-2-己烯醛 <i>E-2-hexenal</i>	0.652
6	29050-33-7	4-萜烯 (+)-4-carene	0.463
7	3681-71-8	顺-3-己烯酯 <i>cis-3-hexenyl acetate</i>	0.046
8	3779-61-1	反式- β -罗勒烯 <i>trans-β-ocimene</i>	0.505
9	3338-55-4	顺式- β -罗勒烯 <i>cis-β-ocimene</i>	0.056
10	99-85-4	γ -松油烯 <i>γ-terpinene</i>	1.071
11	586-62-9	萜品油烯 <i>terpinolene</i>	0.822
12	2220-40-8	双环[2.2.2] 5-辛烯-2-酮 <i>bicyclo[2.2.2]oct-5-en-2-one</i>	2.768
13	2442-10-6	1-辛烯-3-乙酯 <i>1-octen-3-yl-acetate</i>	0.075
14	699-02-5	4-甲基-苯甲醇 <i>4-methyl-phenethyl alcohol</i>	0.626
15	1335-66-6	异环柠檬醛 <i>isocyclocitral</i>	0.440
16	464-49-3	樟脑 ($\pm$)-2-bornanone	7.864
17	99-83-2	水芹烯 <i>a-phellandrene</i>	0.747

续表

序号 No.	CAS 号 CAS number	花期杭白菊植株挥发性成分 Volatile components from chrysanthemum	相对内标含量/% Relative content to internal standard
18	72540-93-3	2-甲基-2-龙脑烯 2-methyl-2-bornene	0.017
19	5406-39-3	4-甲基苯丙醇 4-methyl-benzenepropanol	0.083
20	1000151-75-4	3-萜烯-2-醇 <i>trans</i> -3-carene-2-ol	0.066
21	78-59-1	异佛尔酮 isophorone	1.808
22	76-49-3	乙酸冰片酯 bornyl acetate	0.258
23	503-93-5	2,6,6-三甲基-2,4-环庚二醇-1-酮 2,6,6-trimethyl-2,4-cycloheptadien-1-one	3.631
24	25246-27-9	香树烯 alloaromadendrene	0.078
IS	110-38-3	内标 ethyl decanoate	100.000
25	5989-8-2	长叶蒎烯 (+)- α -longipinene	0.109
26	469-61-4	α -雪松烯 α -cedrene	0.109
27	1405-16-9	绿叶烯 patchoulene	0.319
28	6831-16-9	马兜铃烯 (-)-aristolene	0.110
29	1000374-17-4	β -姜黄烯 β -curcumene	0.151
30	41702-63-0	表姜烯酮 epizonarene	0.074
31	489-39-4	香橙烯 aromandendrene	0.060
32	5951-61-1	β -杜松萜烯 (-)- β -cadinene	0.733
33	1000374-19-8	愈创木-9,11-二烯 guaia-9,11-diene	0.131
34	1000159-39-0	β -人参烯 β -panasinsene	0.363
35	30021-74-0	<i>g</i> -依兰油烯 <i>g</i> -muurolene	0.055
36	11028-42-5	雪松烯 cedrene	0.348

2.2 花期杭白菊植株主要挥发物对菊小长管蚜的引诱效应

在室内,使用 Y-管嗅觉仪测定了花期杭白菊植株的 17 种主要挥发物、蚜虫 2 种性信息素对于菊小长管蚜的引诱效应。结果表明,10⁻⁴ g/mL 的 α -蒎烯、反-2-己烯醛、(+)-4-萜烯、顺-3-己烯乙酯、顺式- β -罗勒烯、 γ -萜品烯、和 1-辛烯-3-乙酯,以及 10⁻⁶ g/mL 的荆芥醇和荆芥内酯引诱的蚜数显著多于正己烷(CK)引诱的蚜数。其它测试成分没有显示出显著的效果(图 4)。

2.3 菊花黄对于菊小长管蚜的诱效稍强于芽绿

田间试验 1 结果表明:2020 年 10 月 30 日—11 月 1 日在菊园菊花黄粘板诱得的蚜数稍多于芽绿粘板诱捕的蚜数,但是差异未达显著水平(表 2)。2021 年 10 月 29 日—31 日在菊园进行了同样的菊小长管蚜行为检测试验,并得到了类似结果(表 3)。

表 2 2020 年花期杭白菊园中 2 种色彩粘板逐日累积诱捕菊小长管蚜个数

Table 2 Daily accumulative average of catches of aphids on each of two types of colored boards in Chrysanthemum cultivar ‘Hangbaiju’ field during its blooming stage in 2020

粘板类型 Sticky board type	10 月 30 日 Oct. 30	10 月 31 日 Oct. 31	11 月 1 日 Nov. 1
菊花黄粘板 Chrysanthemum yellow board	22.0±2.2 <i>t</i> = 1.0742	45.0±3.1 <i>t</i> = 1.4552	66.0±4.8 <i>t</i> = 0.4708
芽绿粘板 Bud green board	21.0±2.0 <i>df</i> = 18, <i>P</i> > 0.05	43.0±3.1 <i>df</i> = 18, <i>P</i> > 0.05	65.0±4.7 <i>df</i> = 18, <i>P</i> > 0.05

每种颜色的粘板重复 10 次

2.4 载有蚜虫复合型引诱剂的菊花黄粘板大量诱杀菊小长管蚜成虫

2.4.1 田间试验 3 的诱杀效果

2021 年杭白菊采摘时间 10 月 25 日—11 月 25 日,10 月 14 日预备了 16 个试验小区,每个小区面积

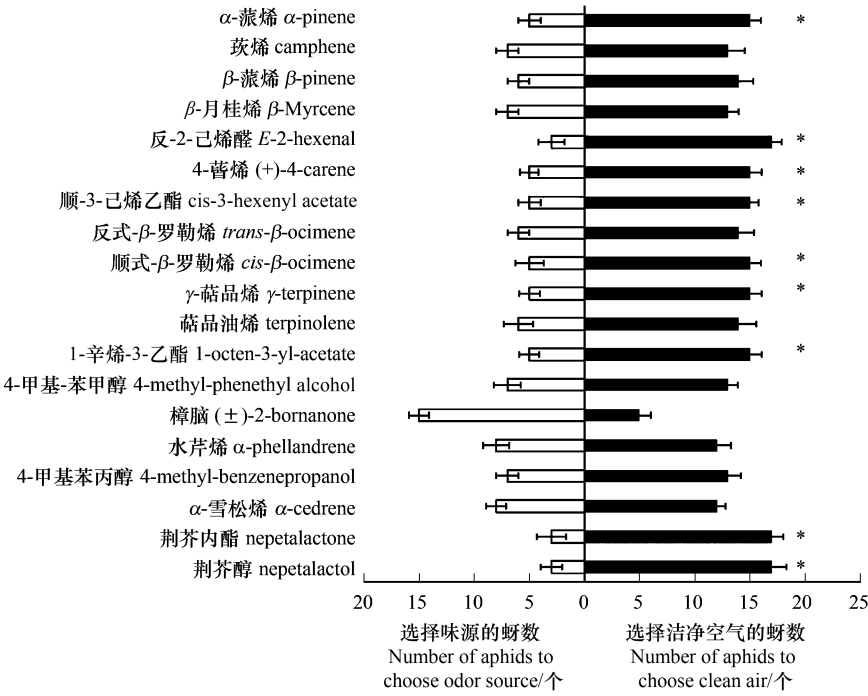


图4 选择味源的蚜数和选择清洁空气的蚜数

Fig.4 Number of aphids choosing the odor source vs. the clean air

其中 α -pinene, *E*-2-hexenal, (+)-4-carene, *cis*-3-hexenyl acetate, *cis*- β -ocimene, γ -terpinene, 1-octen-3-yl-acetate, camphene, β -pinene, β -Myrcene, *trans*- β -ocimene, (+)-4-carene, 4-methyl-phenethyl alcohol, ($\pm$)-2-bornanone, α -phellandrene, 4-methyl-benzenepropanol 和 α -cedrene 的浓度为 10^{-4} g/mL; nepetalactol 和 nepetalactone 的浓度为 10^{-6} g/mL; * 表示 $P < 0.05$

0.067hm²。全面喷施了吡虫啉之后,翌日蚜虫种群密度降到最低(图5)。然而,在CK区从10月15日—11月14日,蚜虫数量骤增,之后又很快下降。

表3 2021年花期杭白菊园中2种色彩粘板逐日累积诱捕菊小长管蚜个数

Table 3 Daily accumulative average of catches of aphids on each of two types of colored boards in Chrysanthemum cultivar ‘Hangbaiju’ field during its blooming stage in 2021

粘板类型 Sticky board type	10月29日 Oct. 29		10月30日 Oct. 30		10月31日 Oct. 31	
菊花黄粘板 Chrysanthemum yellow board	16.0±2.0	$t = 0.8321$	33.0±3.0	$t = 1.2247$	51.0±5.0	$t = 1.1103$
芽绿粘板 Bud green board	15.0±2.0	$df = 18, P > 0.05$	31.0±3.0	$df = 18, P > 0.05$	49.0±5.0	$df = 18, P > 0.05$

每种颜色的粘板重复10次

10月30日开始诱杀或喷药,半个月之后即11月14日,蚜虫引诱剂处理区蚜虫种群密度降低,蚜虫复合型引诱剂处理区蚜虫种群密度较低,吡虫啉处理区蚜虫种群密度最低,但是,3者差异未达显著水平。11月14日之后,蚜虫复合型引诱剂区、蚜虫引诱剂区蚜数持续降低;由于农药药效下降,吡虫啉处理区蚜数逐渐上升,接近CK区蚜虫密度。

11月29日,每小区蚜数又被扫网法和“五点取样法”调查,蚜虫复合型性诱剂处理区域、蚜虫引诱剂处理区、吡虫啉处理区和CK区蚜数平均值±标准差分别是182±6, 202±9, 326±15和312±7。差异达到了显著水平, $P < 0.05$, 一尾ANOVA分析, $F_{(3,12)} = 222.4$ 。LSD测验表明,蚜虫复合型性诱剂区、蚜虫引诱剂区的蚜数显著低于喷药区蚜数或CK区蚜数。

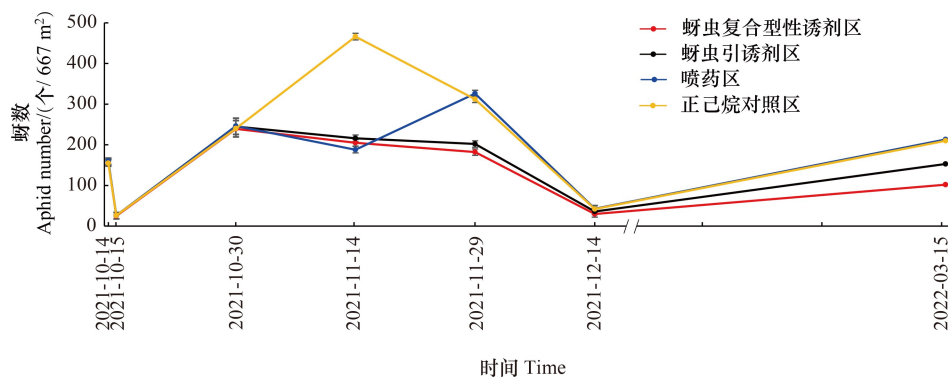


图5 2021年秋—2022年春杭白菊园4种处理的小区 内菊小长管蚜种群的波动

Fig.5 Population fluctuation of aphid *M. sanborni* in the 4 treatment plots in the Chrysanthemum cultivar ‘Hangbaiju’ field in the year of 2021 to 2022

由于12月6日及其后几日遭遇雨雪天气,在12月14日查得所有小区蚜虫密度降到最低(图5)。与此同时,从2021年11月4日—29日,每5天1次调查粘板上诱杀的蚜虫个数,结果表明,携带蚜虫复合型性诱剂或蚜虫引诱剂的菊花黄粘板拥有强大的诱杀效果(表4)。

表4 杭白菊园中携带3种引诱剂的菊花黄粘板2021年花期平均每5日累积诱杀的蚜数

Table 4 Daily accumulative average of catches of aphids on each of chrysanthemum yellow boards respectively baited three attractants in Chrysanthemum cultivar ‘Hangbaiju’ field during its blooming stage in 2021

诱捕器类型 Trap type	11月4日 Nov. 4	11月9日 Nov. 9	11月14日 Nov. 14	11月19日 Nov. 19	11月24日 Nov. 24	11月29日 Nov. 29
携带蚜虫复合型性诱剂的菊花黄粘板 Chrysanthemum yellow sticky board baited with complex sexual attractant	142±23a	157±25a	165±27a	105±16a	75±10a	50±8a
携带蚜虫引诱剂的菊花黄粘板 Chrysanthemum yellow sticky board baited with aphid attractant	121±19b	134±20b	143±22b	92±12b	58±8b	38±5b
携带正己烷菊黄粘板(CK) Chrysanthemum yellow sticky board baited with hexane	94±12c	96±13c	98±14c	52±8c	41±5c	25±4c

携带不同小写字母的同一栏数值之间差异达到 $P<0.05$ 水平

2021年冬季之后,至2022年3月15日,每个小区蚜数开始增长。蚜虫复合型性诱剂区或蚜虫引诱剂区的蚜数显著低于CK区蚜数、吡虫啉喷药区蚜数($F_{(3,12)}=133.0, P<0.05$)。

2.4.2 田间试验4的诱杀效果

2022年10月—12月田间试验4结果也证实,携带蚜虫引诱剂1的菊花黄粘板对于菊小长管蚜具有强大的诱杀潜能(图6、表5)。

3 讨论

多年的田间实践发现菊小长管蚜嗜好菊花花朵,寻觅于花朵上刺吸菊花汁液和藏匿于花朵中,易于随着菊花的收获而被送往加工厂,残留于菊花产品中。开水冲饮过程中,蚜尸和肢体就会浮于菊花茶汤中,致饮者“倒胃口”,影响饮用和售价。若在花期喷药治蚜,常常造成菊花产品的农残超标,曾一度影响了杭白菊业形象。该蚜已成为近20年来杭白菊最严重的病虫之一,亟需适宜的绿色防控手段。

花期该蚜群聚于菊花花朵上,推测花朵散发的香味、展示的色彩和形状等线索引诱了该蚜。本研究就以花期杭白菊植株为试验材料,分离鉴定了36种挥发物,挑选其中含量大的17种主要成分为味源,经室内行为

测定筛选出 7 种显著引诱该蚜的成分。与之同时,杭白菊花期正值深秋时节,分化出一批批性蚜,在花朵上觅食的雌成蚜会释放性信息素引诱雄成蚜。寄主植物挥发性化合物在自然状态下的组成成分及其比例构成的化学指纹图对于植食性昆虫具有最佳诱效,遂将这 7 种成分按照在菊株挥发物中测出的比例、再加入微量蚜虫性信息素荆芥内酯,配成蚜虫复合型性诱剂。本课题组曾研制了显著诱杀茶蚜 *Toxoptera aurantii* Boyer 的茶蚜引诱剂^[18],主要成分源自茶树挥发物,在本研究中称之为蚜虫引诱剂,作为参比引诱剂。之所以在菊园的一系列试验证实,其对于菊小长管蚜的诱效明显弱于本研究的蚜虫复合型性诱剂,是因为引诱剂组成不同,蚜虫种类也不同、菊园环境有别于茶园。

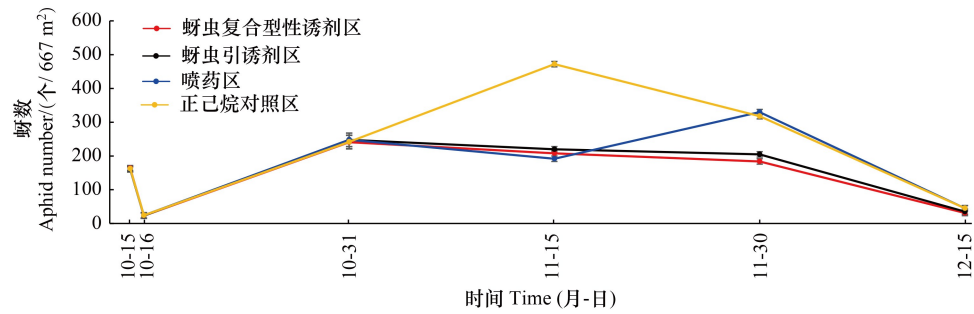


图 6 2022 年秋杭白菊园 4 种处理的小区菊小长管蚜种群的波动

Fig.6 Population fluctuation of aphid *M. sanborni* in the 4 treatment plots in the Chrysanthemum cultivar ‘Hangbaiju’ field in 2022

表 5 杭白菊园种携带 3 种引诱剂的菊花黄粘板 2022 年花期平均每 5 日累积诱杀的蚜数

Table 5 Daily accumulative average of catches of aphids on each of chrysanthemum yellow boards respectively baited three lures in Chrysanthemum cultivar ‘Hangbaiju’ field during its blooming stage in 2022

诱捕器类型 Trap type	11 月 5 日 Nov. 5	11 月 10 日 Nov. 10	11 月 15 日 Nov. 15	11 月 20 日 Nov. 20	11 月 25 日 Nov. 25	11 月 30 日 Nov. 30
携带蚜虫复合型性诱剂的菊花黄粘板 Chrysanthemum yellow sticky board baited with aphid complex attractant	148±26a	165±28a	176±29a	111±19a	78±10	48±7a
携带蚜虫引诱剂的菊花黄粘板 Chrysanthemum yellow sticky board baited with aphid attractant	129±21b	140±23b	154±25b	98±16b	560±8b	36±5b
携带正己烷的菊花黄粘板(CK) Chrysanthemum yellow sticky board baited with hexane	97±15c	103±16c	108±18c	60±10c	42±5c	24±4c

携带不同小写字母的同栏数值之间差异达到 $P < 0.05$ 水平

芽绿表现出对于蚜虫、粉虱、蓟马和其它小型昆虫显著诱效^[15—16,29—33]。本研究发现菊花黄对于菊小长管蚜的引诱力与芽绿色相当或者稍强。携带蚜虫复合型性诱剂的菊黄色粘板诱捕的蚜数明显多于携带蚜虫引诱剂的菊黄色粘板诱捕的蚜数。而且,携带复合型蚜虫性诱剂的菊黄色粘板对于菊小长管蚜的防效优于吡虫啉。可见花期菊花植株嗅觉线索(挥发物+蚜虫性信息素)与菊花视觉线索(花蕊和花瓣的黄色)叠加引诱菊小长管蚜。

在喷药区,10 月 30 日之后,蚜虫种群密度很快下降,之后由于药效的快速下降而缓慢上升。同时,由于诱虫板的更新和引诱剂的缓释,携带蚜虫复合型性诱剂或蚜虫引诱剂的菊黄色诱虫板一直在诱杀蚜虫,消耗蚜虫数量。因此,1 个月之后,在 11 月 29 日,信息素诱捕区蚜虫数已经显著低于喷药区。

过了寒冷的冬季之后,直至 2022 年 3 月 15 日,在每个处理区内有翅蚜和无翅蚜数已经开始增长。然而,在蚜虫复合型性诱剂处理区、蚜虫引诱剂处理区的蚜虫数量显著低于正己烷处理区和喷药区,亦将一定程度上抑制诱杀区域春季菊小长管蚜种群增长趋势。菊蚜综合防治已取得长足进展^[2—3, 34—35],包括天敌昆虫应

用^[36-37]、虫生真菌制剂施用^[38]、植物源农药喷施^[39-41]、以及植物源驱避剂的应用^[42]。本研究证实载有复合型性诱剂的菊花黄粘板从秋季开花至翌年春季的持续更新使用是另一种环境友好、经济合算的控制菊小长管蚜的措施。

参考文献 (References):

- [1] 段金花, 张润杰. 温度对菊小长管蚜生长发育的影响. 应用生态学报, 2004, 15(6): 1035-1038.
- [2] 蒋细旺. 茶用菊花主要虫害危害特征及防治措施. 江汉大学学报: 自然科学版, 2005, 33(2): 74-76, 79.
- [3] 丁佩, 马海芹, 戴德江, 王华弟. 70%吡虫啉 WDG 防治杭白菊蚜虫应用技术研究. 中国农学通报, 2015, 31(17): 95-99.
- [4] 王梦馨, 韩善捷, 张嘉荟, 沈学根, 周建松, 韩宝瑜. 杭白菊园绿盲蝽发生与防治. 安徽农业大学学报, 2016, 43(2): 244-247.
- [5] 张嘉荟, 方志宇, 王梦馨, 韩宝瑜. 杭白菊绿盲蝽生物学学习性及其在不同品种菊花上分布差异. 安徽农学通报, 2017, 23(21): 71-72.
- [6] 祝愿, 王梦馨, 崔林, 韩宝瑜. 2 个杭菊主栽品种形色差异及其与菊小长管蚜数的相关性. 安徽农业大学学报, 2018, 45(6): 1143-1146.
- [7] 祝愿, 王梦馨, 崔林, 沈子尧, 周建松, 韩宝瑜. 基于 EPG 技术分析杭菊两主栽品种对三种菊蚜抗性及其相关抗性物质. 植物保护学报, 2019, 46(2): 425-433.
- [8] 许雅洁, 戴德江, 陈轶, 张传清, 刘亚慧. 杭白菊重要害虫的发生动态及温度效应. 中国植保导刊, 2019, 39(9): 34-39.
- [9] 许兰杰, 余永亮, 谭政委, 杨红旗, 董薇, 李磊, 刘新梅, 梁慧珍. 菊花蚜虫主要种类及综合防治. 生物灾害科学, 2019, 42(3): 228-231.
- [10] Sparks T C, Nauen R. IRAC: mode of action classification and insecticide resistance management. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2015, 121: 122-128.
- [11] 李彦飞, 冯泽腾, 王国强, 张晓军. 几种植物源增效剂对 46% 氟啶虫酰胺·啉虫脒 WG 防治辣椒蚜虫的减量增效研究. 农药, 2023, 62(5): 374-377.
- [12] Zhang J, Ye C, Wang Z G, Ding B Y, Smagghe G, Zhang Y J, Niu J Z, Wang J Z. DsRNAs spray enhanced the virulence of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* in aphid control. Journal of Pest Science, 2023, 96: 241-251.
- [13] Wojciechowicz-Żyto E, Wilk E. Surrounding semi-natural vegetation as a source of *Aphidophagous syrphids* (Diptera, Syrphidae) for aphid control in apple orchards. Agriculture, 2023, 13: 1040.
- [14] 魏然, 吴俊彦, 张习文, 刘显元, 杨树, 位昕禹, 刁鹤男, 崔杰印. 昆虫信息素应用于害虫绿色防控的研究进展. 黑龙江农业科学, 2022(12): 95-99.
- [15] Han B Y, Zhou C S, Cui L. Attraction of winged tea aphids to tea plant volatiles measured by olfactometry and electro-antennography. Tropical Agriculture, 2005, 82, 138-142.
- [16] 韩宝瑜, 韩宝红. 无翅茶蚜对茶树挥发物的触角电生理和行为反应(英文). 生态学报, 2007, 27(11): 4485-4490.
- [17] Han B Y, Zhang Q H, Byers J A. Attraction of the tea aphid, *Toxoptera aurantii*, to combinations of volatiles and colors related to tea plants. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2012, 144(3): 258-269.
- [18] 韩宝瑜, 崔林. 国家发明专利——一种诱捕防治茶蚜的方法. 专利号 ZL201110160810.X, 授权公告日 2013 年 5 月 29 日
- [19] Prokopy R J, Owens E D. Visual detection of plants by herbivorous insects. Annual Review of Entomology, 1983, 28: 337-364.
- [20] Bostanian N J, Racette G. Attract and kill, an effective technique to manage apple maggot, *Rhagoletis pomonella* [Diptera: Tephritidae] in high density Quebec apple orchards. Phytoprotection, 2005, 82(1): 25-34.
- [21] Horridge A. Visual discriminations of spokes, sectors, and circles by the honeybee (*Apis mellifera*). Journal of Insect Physiology, 2006, 52(9): 984-1003.
- [22] Wang M X, Han S J, Wu Y Q, Lin J L, Zhou J X, Han B Y. Tea green leafhopper-induced synomone attracts the egg parasitoids, mymarids to suppress the leafhopper. Pest Management Science, 2023, 79(10): 3785-3795.
- [23] Niu Y Q, Han S J, Wu Z H, Pan C, Wang M X, Tang Y Y, Zhang Q H, Tan G J, Han B Y. A push-pull strategy for controlling the tea green leafhopper (*Empoasca flavescens* F.) using semiochemicals from *Tagetes erecta* and *Flemingia macrophylla*. Pest Management Science, 2022, 78(6): 2161-2172.
- [24] 王梦馨, 沈学根, 周建松, 崔林, 韩宝瑜. 杭菊栽培品种小黄菊鲜花和制成品香气组成分析. 浙江农业学报, 2014, 26(4): 900-907.
- [25] 祝愿. 早小洋菊和晚小洋菊对菊蚜抗性差异及其机制研究[D]. 杭州: 中国计量大学, 2018.
- [26] 郭祖国. 杭白菊 3 个主栽品种抗菊小绿叶蝉生理生化机制研究[D]. 杭州: 中国计量大学, 2020.
- [27] Wu Y Q, Han S J, Wang M X, Zhang Q H, Han B Y. Control of tea aphids via attracting the parasitic wasp, *Aphelinus* sp. with synthetic semiochemicals. Frontiers in Ecology and Evolution, 2022, 10: 958871.
- [28] 唐启义. DPS 数据处理系统. 第三卷, 专业统计及其他. 北京: 科学出版社, 2013.
- [29] 林金丽, 韩宝瑜, 周孝贵, 陈学好. 色彩对茶园昆虫的引诱力. 生态学报, 2009, 29(8): 4303-4316.

- [30] 郑颖姣, 钮羽群, 崔桂玲, 周宁宁, 张新亭, 王梦馨, 崔林, 郑雨婷, 韩宝瑜. 秋末苏南茶园昆虫的群落组成及其趋色性. 生态学报, 2013, 33(16): 5017-5025.
- [31] 王彦苏, 韩善捷, 韩宝瑜. 盛夏西湖龙井茶园色板诱杀的昆虫类群的组成及其趋色性差异. 生态学报, 2020, 40(19): 7093-7103.
- [32] Bian L, Sun X L, Luo Z X, Zhang Z Q, Chen Z M. Design and selection of trap color for capture of the tea leafhopper, *Empoasca vitis*, by orthogonal optimization. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2014, 151(3): 247-258.
- [33] Bian L, Yang P X, Yao Y J, Luo Z X, Cai X M, Chen Z M. Effect of trap color, height, and orientation on the capture of yellow and stick tea Thrips (Thysanoptera: Thripidae) and nontarget insects in tea gardens. *Journal of Economic Entomology*, 2016, 109(3): 1241-1248.
- [34] 吴江, 缪文建, 沈林章, 方樟清, 陈俊伟, 黄普乐. 浙江省三大食用花卉主要病虫害及综合防治技术. 浙江农业科学, 2004, 45(1): 41-43.
- [35] 沈瑶, 戴德江, 沈颖. 浙江省杭白菊农药使用情况调查及对策建议. 浙江农业科学, 2017, 58(3): 438-441, 443.
- [36] 顾洪根. 菊小长管蚜的天敌——黄斑盘瓢虫. 中国园林, 1989, 5(4): 32-33.
- [37] 李国庆, 段金花, 秦志峰. 龟纹瓢虫对菊小长管蚜的捕食功能反应. 湘潭师范学院学报: 自然科学版, 2003, 25(3): 77-79.
- [38] 叶素丹, 陆旋. 菊小长管蚜高毒力生防真菌的筛选. 中国农学通报, 2011, 27(33): 207-212.
- [39] Kimbaris A C, Papachristos D P, Michaelakis A, Martinou A F, Polissiou M G. Toxicity of plant essential oil vapours to aphid pests and their coccinellid predators. *Biocontrol Science and Technology*, 2010, 20(4): 411-422.
- [40] Zhong J, Guo Y H, Chen J T, Cao H, Liu M, Guo Z Y, Zhang Q X, Sun M. Volatiles inheriting from *Crossostephium chinense* act as repellent weapons against aphids in *Chrysanthemum lavandulifolium* cultivars. *Industrial Crops and Products*, 2021, 166: 113467.
- [41] 周坤. 3 种天然植物提取物对菊小长管蚜的抑制和杀灭活性初步研究. 中国药师, 2021, 24(5): 855-859.
- [42] Zhong J, Guo Y H, Shi H J, Liang Y L, Guo Z Y, Li D W, Wang C, Li H, Zhang Q X, Sun M. Volatiles mediated an ecofriendly aphid control strategy of *Chrysanthemum* genus. *Industrial Crops and Products*, 2022, 180: 114734.