环境昆虫学报 2022，44（6）：1486－1492
Journal of Environmental Entomology
http：//hjkcxb. alljournals. net
doi：10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2022. 06. 18



关子盈，邵翠翠，石庆型，陈婷，吕利华，陈洁，齐国君. 扶桑绵粉蚧及其蜜露对红火蚁的召集作用［J］. 环境昆虫学报，2022，44（6）：1486－1492.

扶桑绵粉蚧及其蜜露对红火蚁的召集作用

关子盈[1*]，邵翠翠[1,2*]，石庆型[1]，陈 婷[1]，吕利华[1]，陈 洁[1]，齐国君[1**]
（1. 广东省农业科学院植物保护研究所/广东省植物保护新技术重点实验室，广州 510640；2. 华南农业大学植物保护学院，广州 510642）

摘要：为了明确扶桑绵粉蚧 *Phenacoccus solenopsis* Tinsley 及其蜜露对红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 的召集作用，利用双向选择诱集装置测定了扶桑绵粉蚧雌成虫及其分泌蜜露对红火蚁工蚁的诱集数量动态。结果表明：（1）蜜露对红火蚁工蚁具有强烈的召集作用，不管扶桑绵粉蚧存在与否，均可在 10～20 min 出现觅食工蚁的数量高峰，之后随着蜜露量减少，觅食工蚁诱集数量也逐渐降低，明显高于对照；（2）仅有扶桑绵粉蚧雌成虫存在时，红火蚁觅食工蚁数量呈现逐渐增加的趋势，50 min 才达到数量高峰，之后无明显下降趋势；（3）对比蜜露和雌成虫对红火蚁工蚁的诱集结果发现，蜜露对红火蚁工蚁的召集作用明显较强，10 min 即可出现 91. 50 头的觅食工蚁数量高峰，而雌成虫对红火蚁的诱集量较低，诱集高峰出现在 42 min，诱集量仅为 39. 17 头。因此，扶桑绵粉蚧及其蜜露均对红火蚁工蚁具有一定的召集作用，蜜露的召集作用明显较强，而雌成虫的召集作用较为稳定，未随着时间延长出现明显下降。

关键词：扶桑绵粉蚧；蜜露；红火蚁；召集
中图分类号：Q968. 1；S433　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1674－0858（2022）06－1486－07

Recruitment effect of female adult individuals and honeydew of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley to the workers of *Solenopsis invicta* Buren

GUAN Zi-Ying[1], SHAO Cui-Cui[1,2*], SHI Qing-Xing[1], CHEN Ting[1], LYU Li-Hua[1], Chen Jie[1], QI Guo-Jun[1**]（1. Guangdong Provincial Key Laboratory of High Technology for Plant Protection/Plant Protection Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. College of Plant Protection, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China）

Abstract: In order to clarify the recruitment effect of female adult and honeydew of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley to red imported fire ant *Solenopsis invicta* Buren, the dynamics of captured worker of *S. invicta* attracted by female adult individuals and honeydew of *P. solenopsis* were measured using a man-made bidirectional choice device. The results were as follows: (1) Honeydew secreted by *P. solenopsis* had a strong recruitment to the fire ant workers. Highest density of the fire ant foraging workers appeared in 10～20 minutes regardless of the absence or presence of mealybug. Then the captured number of fire ant workers decreased gradually as the amount of honeydew shrank, significantly higher than that of the control. (2) When only the female adult of mealybug existed, population quantity of the fire ant foraging

基金项目：国家重点研发计划（2021YFD1000500，2022YFC2601400）；国家自然科学基金（31801805）；广东省现代农业产业共性关键技术研发创新团队建设项目（2022KJ134）

* 共同第一作者：关子盈，女，1995 年生，硕士，研究实习员，主要从事昆虫生态学研究，E－mail：guanzy@gdppri. com；邵翠翠，女，1995 年生，硕士，主要从事昆虫生态学研究，E－mail：1409629130@qq. com
** 通讯作者 Author for correspondence：齐国君，男，副研究员，主要从事昆虫生态学研究，E－mail：qigj@gdppri. com

收稿日期 Received：2022－10－15；接受日期 Accepted：2022－10－26

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

workers showed gradually increasing trend, and reached a quantity peak at 50 minutes, with no significant downward trend. (3) Compared with female adult of *P. solenopsis*, honeydew was an important factor to attract fire ant to feed. The captured quantity peak of 91.50 fire ant worker individuals attracted by honeydew appeared at 10 minutes, while the peak of 39.17 fire ant worker individuals attracted by mealybug appeared at 42 minutes. Therefore, both female adult and honeydew of *P. solenopsis* showed obvious recruitment to fire ant workers. Honeydew had a significantly strong recruitment to the fire ant workers at first, while the recruitment of mealybug female adult was relatively stable and did not show the descent tendency over time.

Key words: *Phenacoccus solenopsis* Tinsley; honeydew; *Solenopsis invicta* Buren; recruitment

不同生物之间的种间关系中，除捕食、竞争、寄生等负相互作用之外，互利共生关系在生态系统中发挥着同等甚至更为重要的正相互作用(Bronstein，1994)，在外来生物入侵过程中发挥着积极的促进作用(Helms and Vinson，2003; Traveset and Richardson，2014)。在自然界中，蚂蚁与半翅目产蜜昆虫(Honeydew-producing hemipterans)的互利共生关系广泛存在，是生态系统中经典的种间关系之一(Way，1963; Buckley，1987; Styrsky and Eubanks，2007)。在长期进化过程中，许多蚂蚁与蚜虫、介壳虫、角蝉、叶蝉、木虱及紫胶虫等产蜜昆虫形成了一种密切而复杂的关系(Stadler and Dixon，2005; 王思铭和陈又清，2011)，并产生相互促进的生态效应(Helms and Vinson，2003; Zhou *et al.*，2012)。

红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 和扶桑绵粉蚧 *Phenacoccus solenopsis* Tinsley 是近年来入侵我国的重要外来有害生物(曾玲等，2005; Xu *et al.*，2022; 武三安和张润志，2009)，历经十余年扩散蔓延，现已在我国南方多省暴发成灾，并造成了严重的经济损失和生态灾难(陆永跃和曾玲，2015; 陆永跃等，2019; Wang *et al.*，2019; 王磊等，2022)。扶桑绵粉蚧分泌的蜜露可以吸引大量的红火蚁前来觅食(Vinson，1997; Zhou *et al.*，2014)，二者建立条件性互利关系(Zhou *et al.*，2012)，而红火蚁的照看行为不仅可以减少六斑月瓢虫 *Menochilus sexmaculatus* Fabricius、班氏跳小蜂 *Aenasius bambawalei* Hayat 和松粉蚧抑虱跳小蜂 *Acerophagus coccois* Smith 等天敌昆虫的捕食或寄生(Huang *et al.*，2011; Zhou *et al.*，2013; 程寿杰等，2013)，还可提高扶桑绵粉蚧的种群密度及产蜜露量(Zhou *et al.*，2013; 2014)。

蚂蚁与半翅目产蜜昆虫的互利共生关系所依靠的重要媒介是蜜露(Way，1963; Buckley，1987; 王思铭和陈又清，2011; Zhou *et al.*，2014)。蜜露富含多种糖分、氨基酸、蛋白质和脂类物质等，已成为共生蚂蚁重要的、稳定的液体食物资源之一(Völkl *et al.*，1999; Wäckers，2000; 张波等，2015)。蜜露的组成成分和分泌量是吸引蚂蚁前来取食的重要因素(Sakata，1994; Endo and Itino，2013)，这又取决于共生产蜜昆虫的种类、龄期及寄主植物等因素，相对于朱槿、棉花、番茄叶片和扶桑绵粉蚧虫体，蜜露中的松三糖成分对红火蚁吸引作用明显，蜜露显著增加了红火蚁觅食工蚁的数量和觅食频率(Zhou *et al.*，2014)。

为了明确扶桑绵粉蚧雌成虫及其分泌的蜜露对红火蚁的召集作用，本研究以红火蚁、扶桑绵粉蚧雌成虫及其分泌的蜜露为研究对象，利用双向选择诱集装置，测定扶桑绵粉蚧雌成虫及其分泌蜜露对红火蚁工蚁的诱集数量及消长动态，探明扶桑绵粉蚧雌成虫及其分泌蜜露对红火蚁的召集作用，以期为深入探讨蚂蚁与粉蚧类产蜜昆虫的互作机制提供依据。

1　材料与方法

1.1　供试虫源及材料

供试红火蚁蚁巢采集于广东省广州市花都区，参照吕利华等(2006)方法进行田间蚁群采集、人工饲养，饲养室的条件为温度 26 ±2℃、相对湿度约 75%、光周期 12 L∶12 D。

供试扶桑绵粉蚧种群采集于广东省广州市天河区朱槿 *Hibiscus rosa-sinensis* L. 植株，带回实验室用毛刷将其转移至马铃薯 *Solanum tuberosum* L. 植株，并置于温度 26 ±2℃、相对湿度 75% ±5%、光周期 14 L∶10 D 的人工气候箱内饲养。

供试白花鬼针草 *Bidens pilosa* L. 幼苗采集于广

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

州市天河区，移栽至花盆（上口直径 18 cm、下口直径 13.5 cm、高 13.5 cm），种植所用土为营养土，待长到 5、6 片叶后备用。

蜜露取自马铃薯苗植株饲养的扶桑绵粉蚧，利用微毛细管收集在植株叶片上的蜜露滴，每日收集一次，置于 -20℃冰箱备用。

双向选择诱集装置由塑料桶（直径 24 cm、高 20 cm）、地插杆（高 20.5 cm）和培养皿（直径 9 cm）组成。将培养皿中部打孔（0.5 cm）与地插杆的空洞相连，用热熔胶粘合制成双向选择诱集平台，觅食工蚁可通过地插杆和培养皿的孔洞进入诱集平台区。在塑料桶的内壁、培养皿外侧底部及内外直立壁涂抹滑石粉，防止红火蚁从塑料桶、培养皿的底部或四周进入或逃逸。

1.2 试验方法

试验前，将红火蚁种群饥饿处理 24 h，仅提供“水试管”补充水分。将地插杆插入盛有供试蚁巢的塑胶桶中间，待工蚁活动稳定下来后，再将两片长圆形的白花鬼针草叶片对称平放在培养皿中部孔洞的两侧，用三脚架将摄像头固定在诱集平台上方，拍摄并记录红火蚁工蚁数量。

试验共设 4 种处理，每个处理均在双向选择诱集装置上放置两片长圆形（长度约 5.5 cm、宽度约3 cm）的白花鬼针草叶片，扶桑绵粉蚧雌成虫饥饿处理48 h，每个处理重复 5 次。具体处理设置如下：① 5 头扶桑绵粉蚧雌成虫加 2 μL 蜜露与空白对照；② 2 μL 蜜露与空白对照；③ 5 头扶桑绵粉蚧雌成虫与空白对照；④ 5 头扶桑绵粉蚧雌成虫与 2 μL 蜜露。处理时，用微量注射器涂抹 2 μL 蜜露在白花鬼针草叶片中部，或将 5 头扶桑绵粉蚧雌成虫放置在白花鬼针草叶片上，或先涂抹 2 μL 蜜露和再放置 5 头扶桑绵粉蚧雌成虫在白花鬼针草叶片上，以仅放置白花鬼针草叶片为空白对照。

当第一头红火蚁工蚁出现在诱集平台上开始拍摄，拍摄记录时长为 1 h。利用视频编辑软件对拍摄的视频进行数据分析，首次记录数据时间为第 0 min，每 2 min 为一个时间节点，记录处理和对照侧白花鬼针草叶片上的红火蚁工蚁数量。

1.3 数据分析

数据利用 SPSS 26.0 进行统计分析，对引诱源与对照之间的差异利用独立样本 t 检验进行差异显著性分析，对不同时间点之间的差异利用 Duncan 多重比较法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 扶桑绵粉蚧雌成虫加蜜露对红火蚁工蚁的诱集数量动态

在扶桑绵粉蚧雌成虫加蜜露的组合处理叶片上，红火蚁工蚁的诱集数量在不同时间点之间存在显著性差异（$F = 2.793$，$P < 0.01$），在 0 min 时红火蚁觅食工蚁数仅为 2.80 ± 0.86 头，随着时间延长，红火蚁觅食工蚁的诱集数量逐渐增加，16 min 觅食工蚁数量达 100.60 ± 20.84 头，为最高峰，之后觅食工蚁数量逐渐降低，60 min 觅食工蚁数量为 26.80 ± 4.67 头，在空白对照处理叶片上，红火蚁觅食工蚁数量一般在 10 头以下，不同时间点之间没有显著性差异（$F = 1.206$，$P = 0.236$）（图 1-A）。对比分析扶桑绵粉蚧雌成虫及蜜露处理叶片和空白对照叶片的红火蚁工蚁数量发现，处理叶片上红火蚁觅食工蚁的数量均明显高于空白对照，以第 16 min 为节点，处理叶片上红火蚁工蚁数量高达 100.60 ± 20.84 头/叶，极显著高于空白对照叶片上的工蚁数量 10.20 ± 3.69 头/叶（$t = 4.271$，$P < 0.01$）（图 2）。因此，扶桑绵粉蚧为害并分泌蜜露时，组合处理对红火蚁工蚁具有强烈的召集作用，高峰之后诱集的红火蚁觅食工蚁数量逐渐降低，但均显著高于空白对照。

2.2 扶桑绵粉蚧雌成虫对红火蚁工蚁的诱集数量动态

在仅有扶桑绵粉蚧雌成虫的处理叶片上，红火蚁工蚁的诱集数量在不同时间点之间存在显著性差异（$F = 2.403$，$P < 0.01$），在 0 min 时红火蚁觅食工蚁数仅为 1.20 ± 0.58 头，随着时间延长，红火蚁觅食工蚁的诱集数量呈逐渐增加的趋势，50 min 出现觅食工蚁数量高峰，为 19.20 ± 3.26 头，之后工蚁诱集数量略有起伏，60 min 觅食工蚁数量为 17.80 ± 2.11 头，在空白对照处理叶片上，红火蚁觅食工蚁数量一般在 5 头以下，不同时间点之间没有显著性差异（$F = 0.712$，$P = 0.859$）（图 1-B）。对比分析仅有扶桑绵粉蚧雌成虫处理叶片和空白对照叶片的红火蚁工蚁数量发现，处理叶片上红火蚁觅食工蚁的数量均明显高于空白对照，以第 50 min 为节点，处理叶片上红火蚁工蚁数量为 19.20 ± 3.26 头/叶，极显著高于空白对照叶片上的工蚁数量 2.60 ± 0.93 头/叶（$t = 4.895$，$P < 0.01$）（图 2）。因此，扶桑绵粉蚧雌成虫诱

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

集的红火蚁觅食工蚁数量较低，但召集作用却十分稳定，无明显的下降趋势。

2.3　蜜露对红火蚁工蚁的诱集数量动态

在仅有蜜露的处理叶片上，红火蚁工蚁的诱集数量在不同时间点之间存在显著性差异（F = 11.163，P < 0.01），在 0 min 时红火蚁觅食工蚁数仅为 1.00 ± 0.63 头，随着时间延长，红火蚁觅食工蚁的诱集数量逐渐增加，20 min 觅食工蚁数量最高峰，为 88.00 ± 6.22 头，之后随着蜜露量减少，觅食工蚁数量也逐渐降低，60 min 觅食工蚁数量为 14.00 ± 5.70 头，在空白对照处理叶片上，红火蚁觅食工蚁数量一般在 5 头以下，不同时间点之间也存在显著性差异（F = 1.771，P = 0.016）（图 1-C）。对比分析仅有蜜露处理叶片和空白对照叶片的红火蚁工蚁数量发现，处理叶片上红火蚁觅食工蚁的数量均明显高于空白对照叶片，以第 20 min 为节点，处理叶片上红火蚁工蚁数量为 88.00 ± 6.22 头/叶，极显著高于空白对照叶片上的工蚁数量 4.00 ± 0.84 头/叶（t = 13.382，P < 0.01）（图 2）。因此，蜜露对红火蚁工蚁具有强烈的召集作用，诱集的红火蚁觅食工蚁数量会随着蜜露量减少而逐渐降低，但均明显高于空白对照。

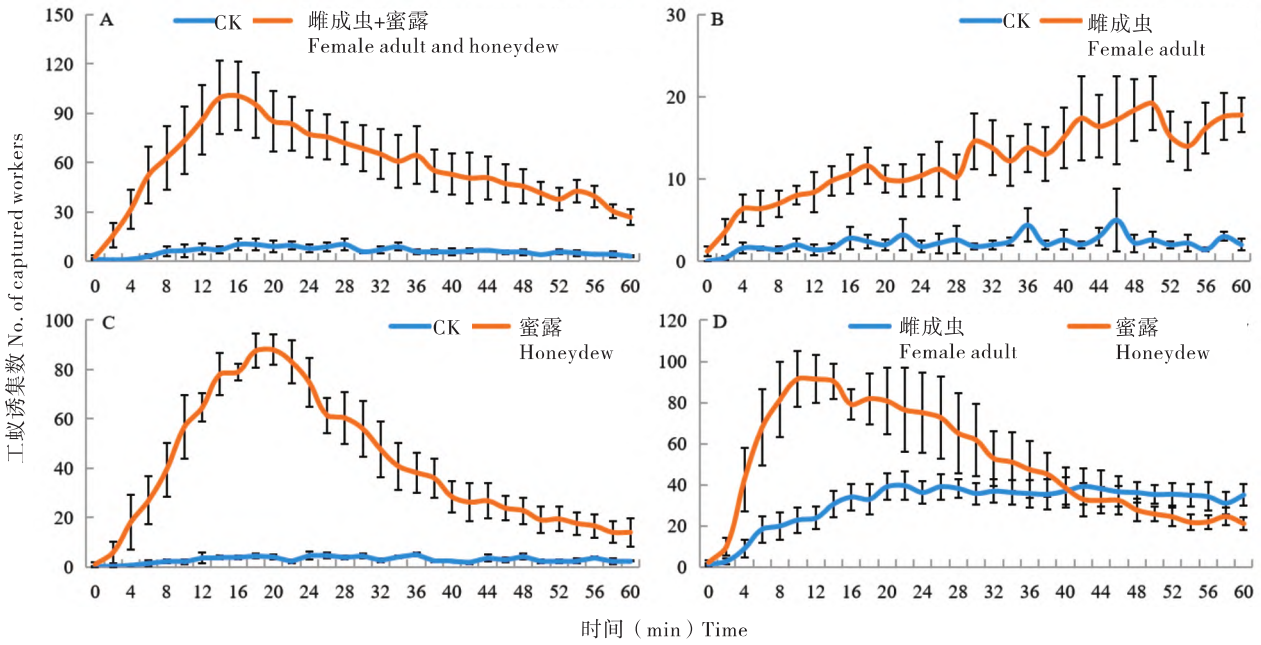


图 1　扶桑绵粉蚧雌成虫和蜜露对红火蚁工蚁的诱集数量动态

Fig. 1　Dynamics of captured worker of *Solenopsis invicta* attracted by female adult and honeydew of *Phenacoccus solenopsis*

2.4　红火蚁工蚁对扶桑绵粉蚧雌成虫和蜜露的偏好性

对比扶桑绵粉蚧雌成虫和蜜露对红火蚁觅食工蚁的诱集结果表明，不同时间点之间扶桑绵粉蚧雌成虫和蜜露对红火蚁工蚁的诱集数量均存在显著性差异（F = 2.949，P < 0.01；F = 4.631，P < 0.01），在 0 min 时，雌成虫和蜜露诱集的红火蚁觅食工蚁数分别为 1.17 ± 0.65 头、2.17 ± 1.08 头，二者之间差异不显著，随着时间延长，红火蚁觅食工蚁的诱集数量均逐渐增加，但蜜露的召集作用明显较强，10 min 便出现觅食工蚁的诱集数量高峰，达 91.50 ± 13.66 头，之后随着蜜露量减少，红火蚁觅食工蚁诱集量也逐渐降低，60 min 时觅食工蚁数量为 21.00 ± 3.00 头，而扶桑绵粉蚧雌成虫的诱集量一直呈增加趋势，42 min 出现觅食工蚁数量高峰，为 39.17 ± 8.94 头，之后雌成虫诱集的工蚁数量始终高于蜜露的诱集量（图 1-D）。以第 10 min 为节点，蜜露处理叶片上红火蚁工蚁数量为 91.50 ± 13.66 头/叶，极显著高于雌成虫处理叶片上的工蚁数量为 22.83 ± 6.15 头/叶（t = 4.585，P < 0.01），42 min 时，扶桑绵粉蚧雌成虫诱集的工蚁数量为 39.17 ± 8.94 头，高于蜜露诱集的觅食工蚁数量 32.83 ± 8.13 头，但两者之间差异不显著（t = 0.524，P = 0.612）（图 2）。因此，扶桑绵粉蚧及蜜露均对红火蚁工蚁具有一定的召集作用，蜜露对红火蚁工蚁的召集作用明显较强，

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

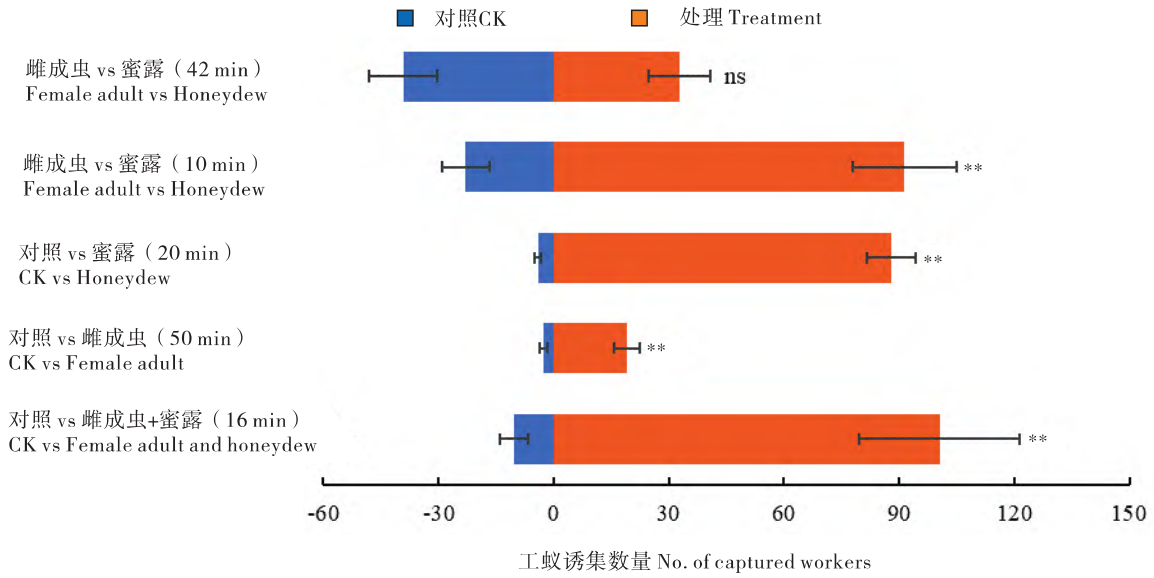


图 2 不同处理对红火蚁工蚁的诱集高峰数量

Fig. 2 Peak number of captured workers of *Solenopsis invicta* attracted by different treatments

注: ** 表示在 0.01 水平上差异显著，ns 表示在 0.01 水平上差异不显著。Note: ** indicated significant difference at 0.01 level, ns indicated no significant difference at 0.01 level.

但随着蜜露量减少，诱集的红火蚁觅食工蚁数量也逐渐降低；而扶桑绵粉蚧雌成虫虽然诱集的红火蚁工蚁数量较低，召集作用却十分稳定，未随着时间延长出现明显下降的趋势。

3 结论与讨论

蚂蚁与半翅目产蜜昆虫之间的互利共生是十分常见的自然现象（Way，1963；Buckley，1987），以蜜露为纽带，红火蚁可与蚜虫、粉蚧等半翅目产蜜昆虫建立互惠关系（Helms and Vinson，2002；Zhou *et al.*，2012；吴段等，2015）。研究表明，在入侵区域，红火蚁与扶桑绵粉蚧、草竹粉蚧 *Antonina graminis*（Maskell）因生境重叠而相遇，形成普遍而又稳定的互利共生关系（Helms and Vinson，2002；Zhou *et al.*，2012），并产生互利助长入侵效应（周爱明等，2014；Wang *et al.*，2021），促进了两者的传播和扩散，分布范围不断扩大。本研究明确了扶桑绵粉蚧雌成虫及其分泌蜜露对红火蚁工蚁具有一定的召集力，扶桑绵粉蚧雌成虫对红火蚁工蚁的诱集高峰数量为 19.2 头/叶，蜜露对红火蚁工蚁的诱集高峰数量高达 88.0 头/叶，均显著高于空白对照，这也说明红火蚁与扶桑绵粉蚧之间可建立明显的互利共生关系。

半翅目昆虫取食植物汁液后，通过肛门排泄出富含多种碳水化合物、氨基酸及脂类的蜜露，蜜露在蚂蚁与半翅目产蜜昆虫之间的互利共生关系中扮演着重要角色（Way，1963；Hölldobler and Wilson，1990；Völkl *et al.*，1999；Wäckers，2000；王思铭和陈又清，2011）。扶桑绵粉蚧蜜露中含有果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖及松三糖等多种糖类物质（Zhou *et al.*，2014），蜜露的存在显著增加了红火蚁工蚁在植株上的觅食数量和频率，通过室内外引诱发现，与蜜露中其他种类的糖分相比，松三糖成分对红火蚁的引诱活性最大（Zhou *et al.*，2015），这种现象同样存在于蚂蚁与蚜虫的共生关系中（Völkl *et al.*，1999；Yao，2014）。本研究利用双向选择诱集评价装置也得到了一致的结果，扶桑绵粉蚧分泌的蜜露对红火蚁工蚁具有强烈的召集作用，由于蜜露的吸引，红火蚁觅食工蚁在 10 min 可出现诱集数量高峰，达 91.50 头/叶，显著高于扶桑绵粉蚧雌成虫诱集的 23.67 头/叶，推测蜜露是吸引红火蚁前来取食的重要因素，在红火蚁与扶桑绵粉蚧的互利共生关系中发挥关键作用。

此外，在蚂蚁识别产蜜昆虫的机制研究中，大量的研究还表明表皮碳氢化合物作为一类重要的化学识别信号物质，在蚂蚁与蚜虫的化学通讯及种间识别方面也同样发挥重要作用（Liepert and Dettner，1993；Glinwood *et al.*，2003）。黑褐毛山

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

蚁 *Lasius niger*（L.）与津岛铺道蚁 *Tetramorium tsushimae* Emery 可根据蚜虫表皮碳氢化合物的成分差别来识别不同的蚜虫种类，其中甲基烷烃是其识别共生蚜虫的主要信息化合物（Lang and Menzel，2011；Sakata *et al.*，2017）。针对粉蚧雌成虫的引诱作用，周爱明（2012）利用 Y 型嗅觉仪测定了红火蚁工蚁对扶桑绵粉蚧虫体的选择率，发现扶桑绵粉蚧各虫态对红火蚁没有明显的吸引作用，侧重于嗅觉方面。而本研究侧重于味觉方面，结果发现扶桑绵粉蚧雌成虫对红火蚁工蚁的召集作用较为稳定，未随着时间延长出现明显下降，甚至在 42 min 以后，雌成虫对红火蚁工蚁的诱集量持续高于蜜露的诱集量，试验采用饥饿 48 h 的雌成虫，且实验观察时间较短，已尽可能避免虫体分泌蜜露对红火蚁吸引的干扰，但究竟是虫体的何种表皮碳氢化合物成分起引诱作用还有待于进一步验证。

参考文献（References）

Bronstein JL. Our current understanding of mutualism［J］. *Quarterly Review of Biology*, 1994, 69 (1): 31 – 51.

Buckley R. Interactions involving plants, Homoptera, and ants［J］. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1987, 18: 111 – 135.

Cheng SJ, Zeng L, Xu YJ. Effect of the mutualism between *Solenopsis invicta* (Hymmenoptera: Formicidae) and *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) on *Aenasius bambawalei* Hayat and *Echinothrips americanus* Morgan［J］. *Journal of Environmental Entomology*, 2013, 35 (5): 555 – 559.［程寿杰，曾玲，许益镌. 红火蚁与扶桑绵粉蚧互惠关系对松粉蚧抑虱跳小蜂和美棘蓟马的影响［J］. 环境昆虫学报，2013，35（5）：555 – 559］

Endo S, Itino T. Myrmecophilous aphids produce cuticular hydrocarbons that resemble those of their tending ants［J］. *Population Ecology*, 2013, 55 (1): 27 – 34.

Glinwood R, Willekens J, Pettersson J. Discrimination of aphid mutualists by an ant based on chemical cues［J］. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 2003, 53 (4): 177 – 182.

Helms KR, Vinson SB. Apparent facilitation of an invasive mealybug by an invasive ant［J］. *Insectes Sociaux*, 2003, 50 (4): 403 – 404.

Helms KR, Vinson SB. Widespread association of the invasive ant *Solenopsis invicta* with an invasive mealybug［J］. *Ecology*, 2002, 83 (9): 2425 – 2438.

Hölldobler B, Wilson EO. The Ants［M］. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1990.

Huang J, Xu YJ, Lu YY, *et al.* Effects of the invasive ant *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) on *Menochilus sexmaculatus* (Coleoptera: Coccinellidae) as a predators of *Aphis craccivora* (Hemiptera: Aphididae) in laboratory conditions［J］. *Sociobiology*, 2011, 57 (3): 565 – 574.

Lang C, Menzel F. *Lasius niger* ants discriminate aphids based on their cuticular hydrocarbons［J］. *Animal Behaviour*, 2011, 82 (6): 1245 – 1254.

Liepert C, Dettner K. Recognition of aphid parasitoids by honeydew – collecting ants: The role of cuticular lipids in a chemical mimicry system［J］. *Journal of Chemical Ecology*, 1993, 19 (10): 2143 – 2153.

Lu YY, Zeng L, Xu YJ, *et al.* Advances in invasive biology and control of red imported fire ant［J］. *Journal of South China Agricultural University* (Natural Science Edition), 2019, 40 (5): 149 – 160.［陆永跃，曾玲，许益镌，等. 外来物种红火蚁入侵生物学与防控研究进展［J］. 华南农业大学学报（自然科学版），2019，40（5）：149 – 160］

Lu YY, Zeng L. 10 years after red imported fire ant found to invade China: History, current situation and trend of its infestation［J］. *Plant Quarantine*, 2015, 29 (2): 1 – 6.［陆永跃，曾玲. 2015. 发现红火蚁入侵中国 10 年：发生历史、现状与趋势［J］. 植物检疫，2015，29（2）：1 – 6］

Lv LH, Feng X, Chen HY, *et al.* A technique for field collecting and laboratory rearing red imported fire ant, *Solenopsis invicta*［J］. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2006, 43 (2): 265 – 267.［吕利华，冯夏，陈焕瑜，等. 介绍红火蚁的野外采集和实验室饲养的方法［J］. 昆虫知识，2006，43（2）：265 – 267］

Sakata H. How an ant decides to prey on or to attend aphids?［J］. *Researches on Population Ecology*, 1994, 36 (1): 45 – 51.

Sakata I, Hayashi M, Nakamuta K. *Tetramorium tsushimae*, ants use methyl branched hydrocarbons of aphids for partner recognition［J］. *Journal of Chemical Ecology*, 2017, 43 (10): 966 – 970.

Stadler B, Dixon AFG. Ecology and evolution of aphid ant interactions［J］. *Annual Review of Ecology Evolution & Systematics*, 2005, 36: 345 – 372.

Styrsky JD, Eubanks MD. Ecological consequences of interactions between ants and honeydew – producing insects［J］. *Proceedings Biological Sciences*, 2007, 274 (1607): 151 – 164.

Traveset A, Richardson DM. Mutualistic interactions and biological invasions［J］. *Annual Review of Ecology Evolution & Systematics*, 2014, 45: 89 – 113.

Vision SB. Invasion of the red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae): Spread, biology and impact［J］. *American Entomologist*, 1997, 43 (1): 23 – 39.

Völkl W, Woodring J, Fischer M, *et al.* Ant – aphid mutualisms: The impact of honeydew production and honeydew sugar composition on ant preferences［J］. *Oecologia*, 1999, 118 (4): 483 – 491.

Wäckers FL. Do oligosaccharides reduce the suitability of honeydew for predators and parasitoids? A further facet to the function of insect – synthesized honeydew sugars［J］. *Oikos*, 2000, 90 (1): 197 – 201.

Wang B, Lu M, Peng YQ, *et al.* Direct and indirect effects of invasive vs. native ant-hemipteran mutualism: A meta-analysis that supports the mutualism intensity hypothesis［J］. *Agronomy*, 2021, 11 (11): 2323 – 2338.

Wang L, Chen KW, Feng XD, *et al.* Long – term predication of red

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

imported fire ant (*Solenopsis invicta* Buren) expansion in mainland China [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2022, 44 (2): 339 – 344. [王磊, 陈科伟, 冯晓东, 等. 我国大陆红火蚁入侵扩张趋势长期预测 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (2): 339 – 344]

Wang L, Xu YJ, Zeng L, *et al.* Impact of the red imported fire ant *Solenopsis invicta* Buren on biodiversity in South China: A review [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2019, 18 (4): 788 – 796.

Wang SM, Chen YQ. Interactions and ecological consequences of interactions between ants and honeydew – producing homopteran [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48 (1): 183 – 190. [王思铭, 陈又清. 蚂蚁与排泄蜜露的同翅目昆虫的相互作用及其生态学效应 [J]. 应用昆虫学报, 2011, 48 (1): 183 – 190]

Way MJ. Mutualism between ants and honeydew – producing Homoptera [J]. *Annual Review of Entomology*, 1963, 8: 307 – 344.

Wu D, Zeng L, Xu YJ. Impact of *Solenopsis invicta* and its mutualism with aphids on flower-visiting behavior of insects on Mungbean, *Vigna radiata* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (4): 715 – 719. [吴段, 曾玲, 许益镌. 红火蚁及其与蚜虫互作对绿豆植株上昆虫访花的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (4): 715 – 719]

Wu SA, Zhang RZ. A new invasive pest, *Phenacoccus solenopsis*, threatening seriously to cotton production [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2009, 46 (1): 159 – 162. [武三安, 张润志. 威胁棉花生产的外来入侵新害虫——扶桑绵粉蚧 [J]. 应用昆虫学报, 2009, 46 (1): 159 – 162]

Xu YJ, Vargo EL, Tsugi K, *et al.* Exotic ants of the Asia – Pacific: Invasion, national response, and ongoing needs [J]. *Annual Review of Entomology*, 2022, 67: 27 – 42.

Yao I. Costs and constraints in aphid – ant mutualism [J]. *Ecological Research*, 2014, 29 (3): 383 – 391.

Zeng L, Lu YY, He XF, *et al.* Identification of red imported fire ant *Solenopsis invicta* to invade mainland China and infestation in Wuchuan, Guangdong [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2005, 42 (2): 144 – 148. [曾玲, 陆永跃, 何晓芳, 等. 入侵中国大陆的红火蚁的鉴定及发生危害调查 [J]. 昆虫知识, 2005, 42 (2): 144 – 148]

Zhang B, He YR, Chen T, *et al.* Dietary composition of foragers of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae) in two habitats, mulberry orchard and barren land, in South China [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2015, 58 (4): 382 – 390. [张波, 何余容, 陈婷, 等. 华南地区桑园和荒地两种生境中红火蚁觅食工蚁的食物组成 [J]. 昆虫学报, 2015, 58 (4): 382 – 390]

Zhou AM, Liang WG, Zeng L, *et al.* Fire ant (*Solenopsis invicta*) invasion assists the short – range spread of another invasive insect, the cotton mealybug [J]. *Journal of Biosafety*, 2014, 23 (2): 93 – 96. [周爱明, 梁广文, 曾玲, 等. 红火蚁入侵对棉花粉蚧近距离扩散的促进作用 [J]. 生物安全学报, 2014, 23 (2): 93 – 96]

Zhou AM, Lu YY, Zeng L, *et al.* Does mutualism drive the invasion facilitation between two alien species? The case of *Solenopsis invicta* and *Phenacoccus solenopsis* [J]. *PLoS ONE*, 2012, 7 (7): e41856.

Zhou AM, Lu YY, Zeng L, *et al.* Effect of honeydew of *Phenacoccus solenopsis* on foliar foraging by *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) [J]. *Sociobiology*, 2014, 59 (1): 71 – 79.

Zhou AM, Lu YY, Zeng L, *et al.* *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae), defend *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae) against its natural enemies [J]. *Environmental Entomology*, 2013, 42 (2): 247 – 252.

Zhou AM, Wu D, Liang GW, *et al.* Effects of tending by *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) on the sugar composition and concentration in the honeydew of an invasive mealybug, *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae) [J]. *Ethology*, 2015, 121 (5): 492 – 500.

Zhou AM. Interactions Between an Invasive Ant *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) and An Invasive Mealybug *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae) [D]. Guangzhou: South China Agricultural University Doctoral Thesis, 2012. [周爱明. 红火蚁与扶桑绵粉蚧互作对入侵的促进作用及机制 [D]. 广州: 华南农业大学博士论文, 2012]

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net