

蚜虫雄蚜与雌性母对性信息素及植物挥发物的田间反应

董文霞^{1,2}, 张 峰^{2,3}, 阚 炜², 张钟宁^{2*}

(1 中国农业科学院茶叶研究所, 杭州 310008 2 中国科学院动物研究所, 农业虫鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101
3 CAB 中国项目办公室, 北京 100081)

摘要: 田间观察了桃蚜 *Myzus persicae* (Sulzer)、绣线菊蚜 *Aphis spiraeicola* Patch、山楂圆疣蚜 *Ovatus crataegarius* (Walker) 等 3 种蚜虫对性信息素 [(4*aS*, 7*S*, 7*aR*)-荆芥内酯和 (1*R*, 4*aS*, 7*S*, 7*aR*)-荆芥醇] 的反应, 并且调查了性信息素与植物挥发物对桃蚜的田间引诱活性的相互作用。在有冬寄主或夏寄主植物的田中, 性信息素诱捕器诱捕到桃蚜雄蚜与雌性母的数量显著多于对照诱捕器的诱捕数; 但在非寄主植物的田中, 却引诱不到桃蚜。苯甲醛 (冬寄主植物桃树 *Prunus persica* 的主要挥发物组分之一) 能够增强桃蚜雄蚜的引诱作用。绣线菊蚜雄蚜和雌性母对植物中提取的荆芥内酯有反应, 而山楂圆疣蚜雄蚜和雌性母对植物中提取的和人工合成的荆芥内酯都没有反应, 但对荆芥醇有反应。并且在荆芥醇中添加荆芥内酯之后对山楂圆疣蚜雄蚜引诱活性显著提高。还讨论了雌性蚜产生化合物被雄蚜作为性信息素、被雌性母作为聚集信息素以及性信息素与寄主植物挥发物的相互作用。

关键词: 蚜虫; 雄蚜; 雌性母; 田间试验; 性信息素; 植物挥发物

文章编号: 1000-0933(2009)01-0178-07 中图分类号: Q143, Q948, Q968 文献标识码: A

Responses of aphid males and gynoparae to sex pheromones and plant volatiles in the field

DONG Wen-Xia^{1,2}, ZHANG Feng^{2,3}, KAN Wei², ZHANG Zhong-Ning^{2*}

¹ Tea Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310008, China

² State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects & Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

³ CAB International China, Beijing 100081, China

Acta Ecologica Sinica 2009 29(1): 0178~0184

Abstract Field observations were made on the responses of males and gynoparae of three aphid species *Myzus persicae* (Sulzer), *Aphis spiraeicola* Patch and *Ovatus crataegarius* (Walker) to sex pheromone components (4*aS*, 7*S*, 7*aR*)-nepetalactone and (1*R*, 4*aS*, 7*S*, 7*aR*)-nepetalactol. The interaction between sex pheromone components and plant volatiles for field attraction of *M. persicae* was also investigated. Males and gynoparae of *M. persicae* were caught in significantly larger numbers in pheromone traps than control traps at sites with their primary or secondary hosts, but not at sites with their non-host plants. For males of *M. persicae*, the attractancy of sex pheromone components was enhanced by the addition of benzaldehyde, a major component of the volatiles from an extract of the host *Prunus persica*. *A. spiraeicola* males and gynoparae responded to the plant-derived nepetalactone, while *O. crataegarius* males and gynoparae showed no response to the nepetalactone (plant-derived or synthesised) alone but were attracted by the nepetalactol. Moreover, the attractiveness of nepetalactol to *O. crataegarius* males was significantly enhanced by addition of the nepetalactone. The female-produced

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (39570116); 北京市自然科学基金资助项目 (6972013)

收稿日期: 2008-05-30 修订日期: 2008-11-04

致谢: 田间试验承蒙北京市农林科学院植保环保所路虹研究员、韩德元副研究员和冯玉珠女士鼎力协助, 谨致衷心的感谢。

* 通讯作者 Corresponding author E-mail: zhangzf@ioz.ac.cn

compounds are shown to act as a sex pheromone for males and an aggregation pheromone for gynoparae and the interaction of the sex pheromone with host plant volatiles is discussed

Key Words Aphid male gynopara field trial sex pheromone plant volatiles

许多种蚜虫在温带寒冷地区的秋季产生性蚜: 雌性母、雄蚜和雌性蚜。雌性母和雄蚜均为有翅蚜, 由夏寄主向冬寄主回迁。雌性母在冬寄主上产生无翅的雌性蚜, 雌性蚜释放性信息素, 吸引雄蚜前来交配, 产卵越冬^[1, 2]。早期的学者对蚜虫选择寄主的嗅觉生理知之甚少^[3], 并认为长距离的化学气味线索在蚜虫-植物和蚜虫-蚜虫的关系中不可能起作用^[3, 4]。但是, 后来的研究结果表明, 嗅觉在蚜虫交配定位和发现寄主的行为过程中发挥着重要作用^[5-8]。

桃蚜 *Myzus persicae* (Sulzer) 在我国北方地区的 10 月中下旬产生性蚜, 有翅雌性母从十字花科蔬菜 (夏寄主) 向桃树 (冬寄主) 回迁, 并孤雌胎生雌性蚜, 有翅雄蚜也飞迁桃树与雌性蚜交配。桃蚜性信息素是由 (-)-(1R, 4aS, 7S, 7aR)-荆芥醇和 (+)-(4aS, 7S, 7aR)-荆芥内酯以 1.5:1 的比例组成^[9]。田间诱捕试验表明以 1:1 的比例混合的荆芥醇和荆芥内酯对桃蚜雄蚜的引诱作用最强^[10]。连续 3a 的田间大面积试验表明: 仅含有荆芥内酯的天然植物提取物就能引诱到大量桃蚜, 这就意味着可以利用植物天然提取物调控蚜虫种群, 有望降低防治成本。另外, 性信息素、冬寄主 (桃树) 释放的挥发物在桃蚜的寄主替换过程中发挥着重要作用。

绣线菊蚜 *Aphis spiraeicola* Patch 和山楂圆疣蚜 *Ovatus crataegarius* (Walker) 是我国果树和山楂树上的两种重要害虫^[11]。绣线菊蚜是同寄主寄生的蚜虫, 全年生活在蔷薇科 (Rosaceae) 植物上, 并且在上面产生有性蚜和卵, 直到 2003 年, Jeon 等才报道其性信息素由 (+)-(4aS, 7S, 7aR)-荆芥内酯和 (-)-(1R, 4aS, 7S, 7aR)-荆芥醇以 6:1~8:1 的比例组成^[12]。山楂圆疣蚜则是寄主更换型的蚜虫: 苹果树 *Malus pumila* Mill 是冬寄主, 薄荷 *Mentha arvensis* L 是夏寄主^[11], 其性信息素组分目前还未见报道。

本文将介绍蚜虫对放置于不同植物田间的荆芥内酯 (从植物中提取) 的反应, 探讨蚜虫性信息素和植物挥发性物质在田间对桃蚜雄蚜和雌性母的作用, 研究桃叶的主要挥发性组分苯甲醛^[13]对性信息素诱捕效果的影响。试验设计最初是针对桃蚜的, 但在苹果园的实验中, 信息素诱捕器中也诱捕到大量的绣线菊蚜和山楂圆疣蚜。因此, 也将对性信息素组分对这两种蚜虫的田间引诱效果进行初步探讨。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 蚜虫性信息素

蚜虫性信息素组分荆芥醇和荆芥内酯通过室内人工合成, 合成方法参见 Sakurai 等^[14], 纯度分别为 92% 和 90%, 皆为立体异构体混合物。荆芥内酯还从植物樟脑草 *Nepeta cataria* L 中利用水蒸气蒸馏法提取获得^[10, 15], 收率是 0.05%。人工合成的化合物与提取物均置于 -20°C 冰箱中保存。

1.1.2 桃树挥发物

10 月中旬, 在尽量接近蚜虫秋季迁飞的时间采集桃树的叶片, 利用水蒸气蒸馏法提取挥发物, 溶剂为正己烷。田间试验使用的挥发物浓度为 30g 叶片提取物 /m² 正己烷。

1.2 方法

连续两年进行田间诱捕试验, 1998 年的试验分别在北京市西郊四季青白菜田 (面积 1000 m²)、四季青桃园 (面积约 3000 m²) 和北京市农林科学院果林所苹果园 (面积约 2400 m²) 进行; 1999 年的试验选择在北京市农林科学院果林所桃园 (面积约 5000 m²) 内进行。三角型诱捕器 (33 cm × 12.5 cm) 根据 Lewis 和 Macaulay 介绍的方法^[16], 采用由浅棕色吹塑纸做成, 内放一块涂满粘虫胶的同质地纸板 (13 cm × 9.5 cm)。诱捕器在试验区内随机放置, 间距为 3 m。在菜地里诱捕器放置在白菜上方 20~30 cm 处, 在桃树和苹果树上诱捕器的位置距地面分别为 1.5~2 m 和 1~1.5 m。引诱剂每隔 4~5 d 更换新的, 诱捕器每 2d 随机更换位置, 同时

更换粘虫纸板,记录诱捕的种类和蚜虫数。另外,在田间放置 1~2 个水盆诱捕器^[10],以便鉴定蚜虫种类。

1.2.1 从樟脑草种提取的荆芥内酯与桃叶提取物的田间诱蚜效果

引诱剂以 1.5 m 塑料离心管作为载体,离心管中央开一个直径 1 mm 的小孔,每个载体内装 0.5 ml 的从樟脑草中提取的荆芥内酯或桃叶提取物,每个处理重复 6 次,以正己烷作为对照。离心管置于诱捕器中央,距诱捕器底部约 1 cm。试验从 1998 年 10 月 21 日开始至 11 月 5 日结束,记录每个诱捕器中诱捕到的雄蚜与雌性母的数量。

1.2.2 人工合成的荆芥醇、荆芥内酯与苯甲醛的相互作用

田间试验连续两年进行,时间分别是 1998 年从 10 月 30 日至 11 月 13 日、1999 年 10 月 18 日到 11 月 12 日。将合成的荆芥醇和荆芥内酯分别配成浓度为 2.5% 的己烷溶液,将苯甲醛 (>98% pure) 配成浓度为 5% 的己烷溶液。以天然橡胶橡皮头作为载体,样品处理分别为 1:1:1 比例的荆芥醇、荆芥内酯和苯甲醛混合物 (300 μl), 1:1 的荆芥醇和荆芥内酯混合物 (200 μl), 以及单独的苯甲醛 (100 μl), 对照为己烷 (100 μl), 每个处理设 3 次重复。记录每个诱捕器中诱捕到的雄蚜与雌性母的数量,数据采用新复极差法进行方差分析。在 1999 年的试验中,同时在桃园放置水盆诱捕器^[10],试验小区之间的距离为 20 m。

1.2.3 人工合成的荆芥醇和荆芥内酯引诱活性的比较

1998 年 10 月 30 日至 11 月 13 日,在苹果园只设置荆芥醇、荆芥内酯和 1:1 的荆芥醇和荆芥内酯混合物诱捕器,浓度与配制同 1.2.2。

2 结果

2.1 从樟脑草中提取的荆芥内酯及桃叶提取物的诱蚜效果

利用从樟脑草中提取的荆芥内酯作为引诱剂,在白菜田、桃园和苹果园诱捕蚜虫的试验结果见表 1。在白菜田和桃园中,荆芥内酯诱捕器诱捕桃蚜雄蚜和雌性母的数量显著多于对照诱捕器的诱捕数。在苹果园中,荆芥内酯诱捕器没有引诱到桃蚜,而是引诱到了大量的绣线菊蚜雄蚜和雌性母,并且显著多于对照诱捕器的诱捕数。在诱捕器中还发现了少量的梨中华圆尾蚜 *Sappaphis sinipiricola* 和山楂圆疣蚜。在桃园中,荆芥内酯诱捕器也引诱到了山楂圆疣蚜。尽管以桃叶提取物为引诱剂的诱捕器在桃园和白菜田引诱到的桃蚜雄蚜和雌性母数量很少 (表 2),但与对照诱捕器相比,存在显著性差异。

表 1 植物提取的荆芥内酯对蚜虫雄蚜和雌性母的田间引诱效果 (1998 年秋)

Table 1 The catches of aphid males and gynoparae by traps with the plant-derived nepetalactone in autumn 1998

| 蚜虫种类 Aphid species | 雄蚜 Males | | | 雌性母 Gynoparae | | |
|--------------------------------------|---------------------------------|-------------------------|----------|---------------------------------|-------------------------|----------|
| | 荆芥内酯 Nepetalactone Mean ± SE | 对照 Control Mean ± SE | <i>t</i> | 荆芥内酯 Nepetalactone Mean ± SE | 对照 Control Mean ± SE | <i>t</i> |
| 白菜田 Cabbage plot | | | | | | |
| 桃蚜 <i>Myzus persicae</i> | 26.3 ± 1.0 | 2.2 ± 0.4 | 10.44** | 9.0 ± 0.6 | 0.7 ± 0.3 | 9.01** |
| 桃园 Peach orchard | | | | | | |
| 桃蚜 <i>Myzus persicae</i> | 15.7 ± 1.2 | 3.2 ± 0.6 | 3.65** | 3.3 ± 0.4 | 1.5 ± 0.5 | 2.38* |
| 梨中华圆尾蚜 <i>Sappaphis sinipiricola</i> | 0.8 ± 0.3 | 0 | 1.64 ns | 0.7 ± 0.3 | 0 | 1.85 ns |
| 苹果园 Apple orchard | | | | | | |
| 梨中华圆尾蚜 <i>Sappaphis sinipiricola</i> | 6.3 ± 1.0 | 0.7 ± 0.3 | 2.17 ns | 4.7 ± 0.7 | 3.3 ± 0.4 | 0.97 ns |
| 绣线菊蚜 <i>Aphis spiraeicola</i> | 62 ± 1.2 | 7.2 ± 0.6 | 14.16** | 15.7 ± 0.6 | 2.5 ± 0.5 | 12.94** |
| 山楂圆疣蚜 <i>Ovatus crataegariensis</i> | 2.8 ± 0.7 | 0.2 ± 0.0 | 2.03 ns | 0.8 ± 0.3 | 0.3 ± 0.3 | 0.86 ns |

学生氏 *t* 测验: $df = 10$ * 表示差异显著 ($P < 0.05$), ** 表示差异极显著 ($P < 0.01$); ns 表示差异不显著 Student's *t*-test $df = 10$ in all cases significant differences at * $P < 0.05$ and ** $P < 0.01$; ns Not significant

2.2 人工合成的荆芥醇、荆芥内酯与苯甲醛的相互作用

桃蚜雄蚜与雌性母在 1998 年与 1999 年的田间试验中基本上一致 (表 3 表 4): 合成的蚜虫性信息素 (1:1 的荆芥醇和荆芥内酯) 不仅对桃蚜雄蚜有引诱作用, 而且对雌性母也有引诱作用; 苯甲醛单独对桃蚜雄蚜和

雌性母没有任何引诱作用, 却能够增强性信息素对桃蚜雄蚜的引诱效果, 但对性信息素引诱雌性母的效果没有影响。

表 2 桃叶提取物对桃蚜雄蚜和雌性母的田间引诱效果 (1998年秋)

Table 2 The catches of *M. persicae* males and gynoparae by traps with peach leaf extract in autumn 1998

| 项目 Item | 每个诱捕器诱到的蚜虫平均数 Mean No. (±SE) aphids per trap | | |
|------------------|--|------------|----------|
| | 桃叶提取物 Peach leaf extract | 对照 Control | <i>t</i> |
| 桃园 Peach orchard | | | |
| 雄蚜 Males | 8.3 ± 0.8 | 3.2 ± 0.5 | 2.95* |
| 雌性母 Gynoparae | 3.2 ± 0.4 | 1.5 ± 0.5 | 2.41* |
| 白菜田 Cabbage plot | | | |
| 雄蚜 Males | 5.7 ± 0.5 | 2.2 ± 0.4 | 4.80** |
| 雌性母 Gynoparae | 2.2 ± 0.4 | 0.7 ± 0.3 | 4.02** |

Student's *t*-test: * 表示差异显著, ** 表示差异极显著 $df = 10$ in all cases significant differences at * $P < 0.05$ and ** $P < 0.01$

表 3 苯甲醛、性信息素在桃园对桃蚜的引诱效果 (1998年秋)

Table 3 The catches of *M. persicae* males and gynoparae by traps with sex pheromone components benzaldehyde and a combination of the two in peach orchard in autumn 1998

| 项目 Item | 雄蚜平均数 / 诱捕器 | 雌性母平均数 / 诱捕器 |
|---|-------------------------------|-----------------------------------|
| | Mean No. (±SE) males per trap | Mean No. (±SE) gynoparae per trap |
| 蚜虫性信息素 Nepetalactone + nepetalactol | 119.0 ± 2.8 b | 24.0 ± 1.3 a |
| 苯甲醛 Benzaldehyde | 7.7 ± 0.9 c | 3.0 ± 0.6 c |
| 蚜虫性信息素 + 苯甲醛 Nepetalactone + nepetalactol + benzaldehyde | 153.3 ± 2.0 a | 16.0 ± 0.9 b |
| 对照 Control | 4.7 ± 0.9 c | 2.3 ± 0.4 c |

表中字母为新复极差法多重比较的检验结果, 同一列上的平均值具有不同字母表示在 0.001 水平上差异显著 Means with a column followed by a different letter are significantly different ($P < 0.001$, Duncan's new multiple-range test)

表 4 苯甲醛、性信息素制作的两种诱捕器对桃蚜的引诱效果 (1999年秋)

Table 4 The catches of *M. persicae* males and gynoparae by two kinds of traps with sex pheromone components benzaldehyde and a combination of the two in peach orchard in autumn 1999

| 项目 Item | 雄蚜平均数 / 诱捕器 | | 雌性母平均数 / 诱捕器 | |
|---|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| | Mean No. (±SE) males per trap | | Mean No. (±SE) gynoparae per trap | |
| | 水盆诱捕器 Water trap | 三角形诱捕器 Triangular trap | 水盆诱捕器 Water trap | 三角形诱捕器 Triangular trap |
| 蚜虫性信息素 Nepetalactone + nepetalactol | 18.7 ± 0.6 b | 22.0 ± 1.1 b | 9.7 ± 0.8 a | 11.3 ± 0.7 a |
| 苯甲醛 Benzaldehyde | 0.3 ± 0.4 c | 12.7 ± 0.9 c | 1.3 ± 0.4 b | 3.0 ± 0.6 c |
| 蚜虫性信息素 + 苯甲醛 Nepetalactone + nepetalactol + benzaldehyde | 23.7 ± 0.6 a | 34.0 ± 1.1 a | 7.7 ± 0.7 a | 9.0 ± 0.6 b |
| 对照 Control | 0c | 7.7 ± 0.9 c | 2.7 ± 0.4 b | 2.3 ± 0.4 c |

表中字母为新复极差法多重比较的检验结果, 同一列上的平均值具有不同字母表示在 0.001 水平上差异显著 Means with a column followed by a different letter are significantly different ($P < 0.001$, Duncan's new multiple-range test)

2.3 人工合成的荆芥醇与荆芥内酯引诱活性的比较

在苹果园中, 性信息素诱捕器还引诱到了绣线菊蚜的雄蚜 (表 5)。统计分析表明两种性信息素组分之间存在显著差异。荆芥内酯诱捕器诱捕到的雄蚜与雌性母的数量与对照诱捕器的诱捕数相近。单独使用荆芥醇诱捕到的雄蚜数量显著多于雌性母, 添加荆芥内酯之后, 诱捕到的雄蚜数量显著增加, 但诱捕到的雌性母数量没有变化。

表 5 人工合成的荆芥内酯与荆芥醇对山楂圆疣蚜的引诱效果 (1998年秋)

Table 5 The catches of *Ovatus crataegarius* males and gynoparae by traps with the synthetic nepetalactone and nepetalactol in autumn 1998

| | 雄蚜平均数 / 诱捕器 | 雌性母平均数 / 诱捕器 |
|---|-------------------------------|-----------------------------------|
| | Mean No. (±SE) males per trap | Mean No. (±SE) gynoparae per trap |
| 荆芥内酯 Nepetalactone | 15.7 ± 1.4 c | 3.0 ± 0.0 b |
| 荆芥醇 Nepetalactol | 576.3 ± 4.9 b | 27.3 ± 2.0 a |
| 荆芥内酯 + 荆芥醇 Nepetalactone + nepetalactol | 823.7 ± 3.2 a | 26.7 ± 1.5 a |
| 对照 Control | 13.0 ± 1.2 c | 2.7 ± 0.6 b |

表中字母为新复极差法多重比较的检验结果, 同一列上的平均值具有不同字母表示在 0.001 水平上差异显著 Means with a column followed by a different letter are significantly different ($P < 0.001$, Duncan's new multiple-range test)

3 讨论

以从樟脑草中提取的荆芥内酯为引诱剂的性信息素诱捕器, 只在寄主植物田里 (桃园和白菜田) 诱捕到了桃蚜, 而在非寄主植物田里 (苹果园) 引诱不到桃蚜 (表 1)。含性信息素两个组分的引诱剂在桃园诱捕到了大量的桃蚜雄蚜 (表 3 表 4), 但在苹果园没有诱捕到桃蚜 (表 5), 这表明寄主植物气味会影响性信息素对桃蚜雄蚜的引诱效果。同样地, 性信息素诱捕器对禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi* L 雄蚜的引诱作用也受寄主植物存在与否的影响^[17]。在鳞翅目昆虫中也存在这种现象: 将信息素诱捕器放置在靠近正在吐穗的玉米植株附近, 诱捕到的美洲棉铃虫 *Helicoverpa zea* (Boddie) 的雄蛾数量会增加^[18]。Shorey 指出, 对于一些蛾类来说, 活雌蛾诱捕器只有放在靠近寄主植物的地方才能诱捕到雄蛾^[19]。尽管冬寄主植物挥发物在田间诱捕到的桃蚜雄蚜数量比较低 (表 2), 但还是表明冬寄主挥发物对桃蚜雄蚜具有引诱作用。Pettersson 发现禾谷缢管蚜在嗅觉仪中对冬寄主植物稠李 *Prunus padus* L 的挥发物有反应, 而对非寄主植物欧洲酸樱桃 *Prunus cerasus* L 和树莓 *Rubus idaei* L 释放的挥发物没有反应^[20]。与此类似, Campbell 等发现无论在嗅觉仪中, 还是在田间, 忽布疣蚜 *Phorodon humuli* 雄蚜都能够被冬寄主红叶李 *Prunus cerasifera* L 释放的挥发物所引诱^[21]。因此, 甚至在没有性信息素的情况下, 冬寄主植物也在雄蚜的寄主定位行为中起着重要作用。但是, 也有试验表明一些蚜虫对寄主植物挥发物没有反应, 例如甘蓝蚜 *Brevicoryne brassicae*^[22]、隐瘤额蚜属蚜虫 *Cryptomyzus* spp^[23]、草莓谷网蚜 *Sitobion fragariae*^[7] 等。Lsel 等也发现两种寄主植物黑刺李 *Prunus spinosa* 和欧洲李 *Prunus domestica* 释放的挥发物对忽布疣蚜雄蚜没有引诱作用^[8]。

田间试验表明寄主植物挥发物能够增强性信息素对一些蚜虫雄蚜的引诱活性。Campbell 等通过田间试验发现在性信息素诱捕器中加入冬寄主红叶李提取物, 能够增强性信息素对忽布疣蚜雄蚜的引诱作用^[21]。冬寄主挥发物和苯甲醛都能增强禾谷缢管蚜性信息素的在田间的生物活性^[17, 24]。Pope 等利用水盆诱捕器进行的田间试验表明, 苯甲醛能够引诱禾谷缢管蚜的雄蚜和雌性母, 但引诱不到忽布疣蚜。在性信息素诱捕器中单独加入苯甲醛或者水杨酸甲酯会增加诱捕到的禾谷缢管蚜和忽布疣蚜的数量, 同时加入这两种化合物禾谷缢管蚜雄蚜和雌性母的诱捕数量增加, 而忽布疣蚜的诱捕数却减少^[25]。本试验也表明苯甲醛能够增强性信息素 (荆芥醇和荆芥内酯) 对桃蚜雄蚜的引诱活性, 但是苯甲醛本身没有引诱活性。在雄蚜的交配定位行为过程中, 雌性蚜释放的性信息素和寄主植物气味都是雄蚜赖以利用的嗅觉线索, 在一些蚜虫中, 二者协同发挥作用^[24]。另外, 需要引起注意的是苯甲醛是一种比较普遍的植物气味组分, 并非桃树所特有, 因此, 需要通过触角电位和行为测定来进一步确定桃蚜对苯甲醛敏感阈值, 还需要鉴定桃树中其它与雄蚜定位有关的挥发物成分。

其它两种蚜虫, 绣线菊蚜和山楂圆疣蚜主要是在苹果园诱捕到的。以从植物中提取的荆芥内酯为引诱剂的诱捕器引诱到大量的绣线菊蚜雄蚜。山楂圆疣蚜对荆芥内酯没有反应, 但对荆芥醇有反应, 并且在荆芥醇中添加荆芥内酯之后对山楂圆疣蚜引诱活性显著提高。因此, 可以初步推断: 荆芥内酯是绣线菊蚜性信息素组分之一, 山楂圆疣蚜性信息素是荆芥醇和荆芥内酯以不同比例组成的混合物, 主成分是荆芥醇。随后的研究也证明绣线菊蚜的性信息素由荆芥内酯和荆芥醇以 6:1~8:1 比例组成^[12]。性信息素诱捕器诱捕到的桃蚜、

绣线菊蚜和山楂圆疣蚜三种蚜虫的雌性母数量显著多于对照诱捕器的诱捕数, 表明蚜虫性信息素对蚜虫雌性母的引诱作用可能是一普遍现象。在禾谷缢管蚜^[6, 17, 26]、忽布疣蚜^[6, 8, 27]、草莓谷网蚜^[6, 7]、麦长管蚜^[7]、桃瘤蚜 *Tuberocephalus manonis*^[28]等蚜虫中也观察到了相似的反应。因此, 在寄主定位过程中, 雌性母可能是将同种性蚜产生的性信息素作为聚集信息素, 从而找到合适的寄主并且产下雌性蚜^[8]。

尽管性信息素对桃蚜、绣线菊蚜和山楂圆疣蚜的雌性母有引诱作用, 但是诱捕到的数量远远低于雄蚜的数量。Hardie等的研究也表明性信息素引诱到的草莓谷网蚜、禾谷缢管蚜、忽布疣蚜的雄蚜数量大大高于雌性母的数量^[6]。在嗅觉仪中, 草莓谷网蚜、禾谷缢管蚜、麦长管蚜的雌性母发生反应所需要的荆芥内酯浓度高于雄蚜^[7, 26]。触角电位研究表明豆蚜 *Aphis fabae* 雌性母没有雄蚜对性信息素成分敏感^[29], 禾谷缢管蚜的情况也是如此^[26]。这些差异表明: 性信息素对雄蚜比雌性母更具有特异性和引诱力, 雌性母可能只是利用这些化合物作为寄主定位的附加线索。

与上述蚜虫类似, 在其它不少植食性昆虫中, 寄主植物挥发物也会增强性信息素对雄虫的引诱作用^[30-33]。寄主植物和昆虫性信息素通讯的相互作用对于植食性昆虫的繁殖行为具有重要意义, 这一协同作用可以作为一种联合的嗅觉气味线索, 雄性昆虫利用这种联合线索增大与雌性昆虫交配的机率, 而对于雌性昆虫则有助于其选择合适的定居点和产卵位置, 并有利于实现近缘种的生殖隔离^[30]。研究寄主植物气味和昆虫性信息素相互关系, 对于开发更有效的引诱剂进行害虫综合治理具有重要意义^[30]。本研究也证明, 在诱捕器中释放性信息素和寄主植物挥发物对一些蚜虫的引诱作用比单独使用性信息素更为有效。

References

- [1] Blackman R. Aphids. London and Aylesbury: Ginn and Company Limited, 1974.
- [2] Pickett JA, Wadhams L J, Woodcock C M. Attempts to control aphid pests by integrated use of semiochemicals. Proceedings 1994 Brighton Crop Protection Conference-Pests and Diseases. Thornton Heath: BCPC Publications, 1994: 1239-1246.
- [3] Kennedy JS, Booth CO, Kershaw W JS. Host finding by aphids in the field. I. Gynoparae of *Myzus persicae* (Sulzer). *Annals of Applied Biology*, 1959, 47: 410-423.
- [4] Nault LR, Montgomery M E. Aphid Pheromones. In: Harris K F and Maramorosch K eds. *Aphids as Virus Vectors*. New York: Academic Press, 1977: 527-545.
- [5] Pickett JA, Wadhams L J, Woodcock C M, et al. The chemical ecology of aphids. *Annual Review of Entomology*, 1992, 37: 67-90.
- [6] Hardie J, Storer JR, Cook F J, et al. Sex pheromone and visual trap interactions in mate location strategies and aggregation by host-alternating aphids in the field. *Physiological Entomology*, 1996, 21: 97-106.
- [7] Lilley R, Hardie J. Cereal aphid responses to sex pheromones and host-plant odours in the laboratory. *Physiological Entomology*, 1996, 21: 304-308.
- [8] Lsel PM, Lindenmann M, Scherckenbeck J, et al. Effect of primary-host kairomones on the attractiveness of the hop-aphid sex pheromone to *Phoradon humulimales* and gynoparae. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1996, 80: 79-82.
- [9] Dawson GW, Griffiths DC, Merritt LA, et al. Aphid semiochemicals—a review, and recent advances on the sex pheromone. *Journal of Chemical Ecology*, 1990, 16: 3019-3030.
- [10] Geng W J, Xiangyu JG, Li X Z, et al. Male peach aphid attraction in the field by sex pheromones. *Entomologia Sinica*, 1997, 4: 364-368.
- [11] Zhang G X, Zhong T S. Economic Insect Fauna of China (Fasc. 25): Homoptera: Aphidinea. Beijing: Science Press, 1983.
- [12] Jeon H, Han K S, Boo K S. Sex pheromone of *Aphis spiraeola* (Homoptera: Aphididae): composition and circadian rhythm in release. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2003, 6 (2): 159-165.
- [13] Horvat R J, Chapman G W. Comparison of volatile compounds from peach fruits and leaves (cv. Monroe) during maturation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1990, 38: 1442-1444.
- [14] Sakurai K, Ikeda K, Mori K. Both (4aS, 7s, 7aR)-(+) -nepetalactone and antipode are powerful attractants for cats. *Agricultural and Biological Chemistry*, 1988, 52: 2369-2371.
- [15] Eisenbraun E J, Browne C E, Iwin-Wills R L. Structure and stereochemistry of 4a β , 7 α , 7a β -nepetalactone from *Nepeta mussini* and its relationship to the 4 α , 7 α , 7a α - and 4a α , 7 α , 7a β -nepetalactone from *N. cataria*. *The Journal of Organic Chemistry*, 1980, 45: 3811-3814.
- [16] Lewis T, Macaulay E D M. Design and evaluation of sex attractant traps for pea moth *Cydia nigricana* (Steph.) and the effect of plume shape on

- catches *Ecological Entomology*, 1976, 1: 175–187.
- [17] Hardie J, Storer R, Park K C, *et al*. Interactions between aphid sex pheromone and plant volatiles. 2nd International Symposium on Insect Pheromones. Wageningen: W ICC-International Agricultural Centre, 1998: 66.
- [18] Light DM, Flath RA, Buttery RG, *et al*. Host-plant green-leaf volatiles synergize the synthetic sex pheromones of the com earworm and codling moth (Lepidoptera). *Chemoecology*, 1993, 4: 145–152.
- [19] Shorey H H. Environmental and physiological control of insect sex pheromone behavior. In: Birch M C ed. *Pheromones*. Amsterdam: North Holland Publ. Co, 1974: 62–80.
- [20] Pettersson J. Studies on *Rhopalosiphum padi* (L.) I. Laboratory studies on olfactometric responses to the winter host *Prunus padus* (L.). *Lantbrukshögskolans Annaler*, 1970, 36: 381–399.
- [21] Campbell C A M, Dawson G W, Griffiths D C, *et al*. Sex attractant pheromone of damson-hop aphid *Phorodon humuli* (Homoptera: Aphididae). *Journal of Chemical Ecology*, 1990, 16: 3455–3465.
- [22] Pettersson J. Olfactory reactions of *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hom.: Aph.). *Swedish Journal of Agricultural Research*, 1973, 3: 95–103.
- [23] Guilmont JA, Dixon A F G, Pickett JA, *et al*. Specificity of sex pheromones: the role of host plant odour in the olfactory attraction of males and mate recognition in the aphid *Cryptomyzus*. *Physiological Entomology*, 1993, 18: 137–143.
- [24] Hardie J, Storer JR, Nottingham S F, *et al*. The interaction of sex pheromone and plant volatiles for field attraction of male bird-cherry aphid, *Rhopalosiphum padi*. *Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference: Pests & Diseases*, 1994, 3: 1223–1230.
- [25] Pope T W, Campbell C A M, Hardie J, *et al*. Interactions between host-plant volatiles and the sex pheromones of the bird cherry-oat aphid, *Rhopalosiphum padi* and the damson-hop aphid *Phorodon humuli*. *Journal of Chemical Ecology*, 2007, 33(1): 157–165.
- [26] Park K C, Elias D, Donato B, *et al*. Electroantennogram and behavioural responses of different forms of the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* to sex pheromone and a plant volatile. *Journal of Insect Physiology*, 2000, 46: 597–604.
- [27] Campbell C A, Cook F J, Pickett JA, *et al*. Responses of the aphids *Phorodon humuli* and *Rhopalosiphum padi* to sex pheromone stereoisomers in the field. *Journal of Chemical Ecology*, 2003, 29: 2225–2234.
- [28] Boo K S, Choi M Y, Chung I B, *et al*. Sex pheromone of the peach aphid, *Tuberocephalus momonis* and optimal blends for trapping males and females in the field. *Journal of Chemical Ecology*, 2000, 26: 601–609.
- [29] Hardie J, Visser J H, Piron P G M. Perception of volatiles associated with sex and food by different adult forms of the black bean aphid *Aphis fabae*. *Physiological Entomology*, 1994b, 19: 278–284.
- [30] Landolt P J, Phillips T W. Host plant influences on sex pheromone behavior of phytophagous insects. *Annual Review of Entomology*, 1997, 42: 371–391.
- [31] Dickens J C. Pheromone and plant volatiles interactions. 2nd International Symposium on Insect Pheromone. Wageningen: W ICC-International Agricultural Centre, 1998: 63–64.
- [32] Yang Z H, Bengtsson M, Witzgall P. Host plant volatiles synergize response to sex pheromone in codling moth *Cydia pomonella*. *Journal of Chemical Ecology*, 2004, 30: 619–629.
- [33] Deng J Y, Wei H Y, Huang Y P, *et al*. Enhancement of attraction to sex pheromones of *Spodoptera exigua* by volatile compounds produced by host plants. *Journal of Chemical Ecology*, 2004, 30: 2037–2045.

参考文献:

- [11] 张广学, 钟铁森. 中国经济昆虫志(第25册): 同翅目, 蚜虫类. 北京: 科学出版社, 1983