

# 茎瘤芥 3 种蚜虫的取食特性及适应性研究

闫玉芳<sup>1,2</sup>, 赵如娜<sup>2</sup>, 陈文龙<sup>2</sup>,  
蒋欢<sup>1</sup>, 吴朝君<sup>1</sup>, 王旭祎<sup>1</sup>

1. 重庆市渝东南农业科学院, 重庆 涪陵 408000;

2. 贵州大学 昆虫研究所, 贵州山地农业病虫害重点实验室, 贵阳 550025

**摘要:** 为探究茎瘤芥 3 种蚜虫的取食特性及适应性, 利用刺吸电位图谱(EPG)技术对桃蚜 *Myzus persicae* (Sulzer)、萝卜蚜 *Lipaphis erysimi* (Kaltenbach)和甘蓝蚜 *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus)在茎瘤芥植株上的取食行为进行了测定, 并研究了 3 种蚜虫的繁殖力。结果显示: 1) 桃蚜和萝卜蚜均产生 9 种波形, 为 np 波, A 波, B 波, C 波, pd 波, E1 波, E2 波, G 波和 F 波; 甘蓝蚜仅产生其中 7 种波形, 不产生 G 波和 F 波。2) 甘蓝蚜和萝卜蚜在韧皮部之前的刺探(C 波)持续时间显著长于桃蚜, 桃蚜和萝卜蚜在韧皮部(E1 波, E2 波)吸食营养物质的次数显著长于甘蓝蚜。桃蚜在木质部取食水分和无机盐(G 波)的次数及总持续时间显著高于萝卜蚜。3 种蚜虫 pd 波数量及总持续时间差异无统计学意义。3) 从个体取食特征来看, 甘蓝蚜和萝卜蚜多半时间耗费在韧皮部前的刺探(C 波), 桃蚜在韧皮部(E1 波, E2 波)吸食汁液花费了更多时间。4) 萝卜蚜的产仔量最多(116 头), 其次为桃蚜(85 头), 甘蓝蚜繁殖力最弱(65 头)。EPG 分析表明, 3 种蚜虫对茎瘤芥拥有各自不同的取食策略。综合而言, 从取食行为来看, 桃蚜对茎瘤芥的适应性最强; 繁殖力实验明确了萝卜蚜具有较强的适应潜力。

**关键词:** 蚜虫; 刺吸电位图谱; 取食行为; 茎瘤芥; 适应性

**中图分类号:** S432.41

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2021)08-0042-08

茎瘤芥 *Brassica juncea* var. *tumida* Tsen et Lee 是重庆市重要特色支柱产业涪陵榨菜的原材料。历年来, 病毒病是危害茎瘤芥的主要病害之一, 其主要病原是芜菁花叶病毒(*Turnip mosaic virus*, TuMV)<sup>[1]</sup>, 蚜虫通过口针以非持久方式传播该病毒<sup>[2]</sup>, 同时刺吸植株韧皮部及木质部以摄取营养、水分和无机盐等, 对作物造成双重伤害, 严重影响农业生产。以刺吸式口器摄取植株汁液是蚜虫赖以生存的生活方式, 因此, 研究蚜虫的取食行为有助于理解蚜虫对植物的危害性。

刺吸电位图谱(electrical penetration graph, EPG)技术是一种电生理技术, 用于研究刺吸式口器昆虫在寄主植物上的刺探和取食行为<sup>[3]</sup>, 准确记录口针在植物组织内的动作和位置<sup>[4]</sup>。EPG 技术在研究寄主植物适应性、昆虫传毒机理<sup>[5]</sup>以及植物抗性机制<sup>[6-7]</sup>等方面是一种重要的辅助工具。Tjallingii<sup>[6]</sup>最早对蚜虫的取食波形进行了系统研究, 发现蚜虫在刺吸植物汁液的同时能够有效传播病毒。韧皮部和木质部取食是反映寄主适应性的重要指标, EPG 波形中的 E 波和 G 波分别是蚜虫口针进入韧皮部和木质部刺探取食的标

收稿日期: 2020-05-15

基金项目: 重庆市科技局社会事业与民生保障科技创新专项(cstc2015shms-ztx80011); 重庆市涪陵区科技计划项目(FLKJ, 2018BBB3015)。

作者简介: 闫玉芳, 博士研究生, 主要从事农业昆虫与害虫防治的研究。

通信作者: 王旭祎, 研究员。

志,因此,研究 E 波和 G 波可探明蚜虫对寄主植物的适应性.不同体色生物型烟蚜取食烟草时,适应性最强的红色型烟蚜的韧皮部(E1,E2 波)持续时间显著长于绿色型和褐色型烟蚜,适应性最低的褐色型烟蚜对水分和无机盐的要求较低,G 波的持续时间最短<sup>[8]</sup>;Koch 等<sup>[9]</sup>发现麦二叉蚜和甘蔗黄蚜对 2 种柳枝稷的适应性不同,在 2 种柳枝稷间的 E1,E2 波存在明显差异;棉蚜和褐色橘蚜取食柑橘植株时,适应性较强的褐色橘蚜 E2 波的持续时间与平均持续时间显著高于棉蚜<sup>[10]</sup>.蚜虫成功传毒与电位落差(pd)波关系密切,传毒发生在胞内刺探的 pdⅡ-2 亚波,获毒发生在 pdⅡ-3 亚波<sup>[11]</sup>.近年来,利用 EPG 技术研究病毒—蚜虫—植物的互作关系已成为研究的热点.研究发现,病毒可以促进蚜虫的取食.桃蚜取食感染马铃薯卷叶病毒(Potato leafroll virus, PLRV)的烟草植株时,韧皮部分泌唾液(E1 波)的时间显著提前,取食汁液(E2 波)的持续时间明显延长<sup>[12]</sup>;褐色橘蚜在感染柑橘衰退病毒(Citrus tristeza virus, CTV)的植株上取食时,E2 波次数和总持续时间均显著大于健康植株<sup>[13]</sup>.

随着 EPG 技术的不断发展,利用该技术对烟粉虱<sup>[14]</sup>,网蝽<sup>[15]</sup>、飞虱<sup>[16]</sup>、柑橘大食蝇<sup>[17]</sup>、叶蝉<sup>[18]</sup>等多种刺吸式口器昆虫的取食波形进行了系统研究.但该技术尚未用于研究蚜虫在茎瘤芥植株上的取食特性.桃蚜 *Myzus persicae* (Sulzer)、萝卜蚜 *Lipaphis erysimi* (Kaltenbach)和甘蓝蚜 *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus))同属半翅目、蚜科,是十字花科植物常见害虫,田间发现 3 种在茎瘤芥植株上均有发生.本研究基于 EPG 技术对此 3 种蚜虫在茎瘤芥植株上的取食波形和繁殖力进行比较,从行为学和生物学角度分析 3 种蚜虫的取食特性及繁殖能力,以期阐明 3 种蚜虫对茎瘤芥的适应性提供参考.

## 1 材料与方法

### 1.1 材 料

供试植物:茎瘤芥品种(系)为涪杂 2 号,由重庆市渝东南农业科学院榨菜研究中心提供,茎瘤芥播种于方形塑料框中,于黑暗条件下浸种,待种子萌发后置于高效节能组培架上育苗,菜苗生长至 3 叶 1 心时移栽至营养钵中定植,每个营养钵移栽 1 株菜苗.生长条件设置:温度  $25 \pm 1$  °C,相对湿度  $70\% \pm 5\%$ ,光照周期 13:11(L:D).菜苗扎根固定后作为试验材料,选用嫩叶进行试验.

供试虫源:3 种蚜虫均采自于重庆市渝东南农业科学院茎瘤芥种植基地,采用茎瘤芥低抗品种室内繁殖 5 代后,备用.期间未施用任何杀虫剂.室内繁殖条件同生长条件.选取大小、日龄一致的无翅成蚜用于试验,试验前饥饿处理 1 h.

试验仪器:DC-EPGCiga-8 直流昆虫刺探电位仪并附带铜钉、金丝(直径  $18.5 \mu\text{m}$ )、铜丝等配件,荷兰 EPG Systems 公司;DI-158U 电信号转换器,美国 DATAQ INSTRUMENTS 公司;银胶,河南农业大学植物保护学院;自制法拉第金属屏蔽罩,规格  $90 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} \times 120 \text{ cm}$ ,网孔 60 目.

### 1.2 方 法

#### 1.2.1 EPG 分析

EPG 的测定:常温  $25$  °C、自然光下进行.将无翅成蚜放于茎瘤芥嫩叶上进行试验,每头蚜虫和每株菜苗只用于 1 个记录. EPG 系统的昆虫电极是一段长  $2 \sim 3 \text{ cm}$ ,直径  $18.5 \mu\text{m}$  的金丝,金丝末端沾少量水溶性导电银胶粘到蚜虫前胸背板上. EPG 系统的植物电极插在菜苗生长的营养钵土壤中.试验开始前,受试蚜虫饥饿处理 1 h.每头蚜虫的记录时间为 6 h,统计重复 20 次有效波形.为防止外源声波的干扰,整个试验在法拉第金属屏蔽罩内进行.试验于每天 8:00 开始进行.蚜虫口针刺入植物叶片组织时,系统回路接通,蚜虫刺吸植物组织产生的微电流经转换器转换为数字信号,再由 Probe 3.4 软件转化成波形图谱.蚜虫取食所记录的波形参照胡想顺等<sup>[19]</sup>记录的 9 种典型波形(表 1).

EPG 波形分析方法:蚜虫口针进入植物不同的组织内所产生的 EPG 波形不同<sup>[20]</sup>. EPG 波形与其取食行为的对应关系采用阎凤鸣<sup>[21]</sup>的分析方法,即整个记录分为 3 个阶段:口针到达韧皮部前的刺探路径阶段;韧皮部刺探阶段;木质部刺探阶段.

表 1 EPG 各波形及意义

| 波形代码  | 发生部位  | 波 形 意 义                     |
|-------|-------|-----------------------------|
| np    | 茎、叶表面 | 非刺探波，表示蚜虫的爬行、休息等行为          |
| A,B,C | 韧皮部前  | 路径波，表示蚜虫口针在寄主植物表皮与微管束之间的刺探  |
| pd    | 韧皮部前  | 路径波，反映了蚜虫口针刺破细胞膜时所产生的膜内外电位差 |
| F     | 韧皮部前  | 路径波，口针在细胞膜外胞间或细胞壁内的机械穿刺受阻   |
| E1    | 韧皮部   | 口针刺探韧皮部筛管时的分泌唾液波            |
| E2    | 韧皮部   | 口针刺探韧皮部筛管时的被动吸食波            |
| G     | 木质部   | 木质部主动吸食波，与维持蚜虫体内水分平衡有关      |

1.2.2 繁殖力试验

桃蚜在室内(温度  $25\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度  $75\%\pm 5\%$ )繁殖多代后，选择 100 头无翅成蚜放入人工气候箱内(温度  $25\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度  $75\%\pm 5\%$ )的茎瘤芥幼苗上任其自然生长，每株 1 头，观察并记录每头产仔量，试验重复 3 次。萝卜蚜和甘蓝蚜方法同上，最后比较 3 种蚜虫的繁殖力。

1.3 数据分析

使用 Stylet 软件对 EPG 数据进行记录和分析，EPG 试验和繁殖力试验均采用 Excel 2003 和 SPSS 19.0 软件对试验数据进行分析；EPG 数据不符合正态分布的，采用非参数检验(Kruskal-Wallis)单因素 ANOVA 法进行统计分析，差异显著性检验采用 Duncan 新复极差法，差异显著性水平设置为  $p<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 3 种蚜虫取食茎瘤芥的 EPG 波形

在 6 h 的刺探取食过程中，桃蚜和萝卜蚜均记录到 9 种波形(图 1，3 种蚜虫产生的每种波形类似，故以桃蚜为例)，分别为非刺探波 np，路径波 A、B 和 C，电位落差波 pd，韧皮部取食波 E1 和 E2，机械阻力波 F 和木质部取食波 G；甘蓝蚜只记录到 7 种波形，没有产生 F 波和 G 波，说明甘蓝蚜口针在刺探过程中没有遇到机械阻力，在木质部摄取水分和无机盐的需求较低。

2.2 3 种蚜虫的 EPG 波形比较

2.2.1 口针到达韧皮部前的取食波形比较

萝卜蚜和甘蓝蚜的口针达到韧皮部前的刺探(C 波)总持续时间(分别为 199.34 min,191.59 min)显著长于桃蚜(135.89 min)，说明两者的口针在达到韧皮部前(C 波)反复刺探，寻找到韧皮部合适的取食位点比较困难。相比之下，桃蚜口针在达到韧皮部之前的刺探(C 波)时间较短，能够很快进入韧皮部。3 种蚜虫 pd 波数量及总持续时间差异无统计学意义，表明三者传毒能力相当。

2.2.2 口针在韧皮部的刺探行为比较

桃蚜和萝卜蚜口针刺探韧皮部分泌唾液(E1 波)的次数(分别为 9.65 次,10.40 次)显著高于甘蓝蚜(4.85 次)；3 种蚜虫分泌唾液的总持续时间差异明显，分别为桃蚜 31.22 min，萝卜蚜 11.45 min，甘蓝蚜 5.07 min。说明桃蚜和萝卜蚜口针在韧皮部分泌唾液比较频繁，持续时间较长，吸食效率显著提高。蚜虫口针在韧皮部被动吸食(E2 波)的次数存在差异，桃蚜和萝卜蚜显著高于甘蓝蚜，分别为 7.35 次,8.20 次和 4.20 次，表明桃蚜和萝卜蚜在韧皮部吸食营养物质的次数较多(表 2)。

2.2.3 口针在木质部的刺探行为比较

口针刺探过程中，甘蓝蚜没有出现木质部主动吸食(G 波)的情况。桃蚜 G 波的刺探次数(1.90 次)及总持续时间(10.05 min)显著高于萝卜蚜(0.15 次,0.93 min)，说明桃蚜比萝卜蚜需要在木质部吸食更多的水分和无机盐，甘蓝蚜对水分和无机盐的需求较低(表 2)。

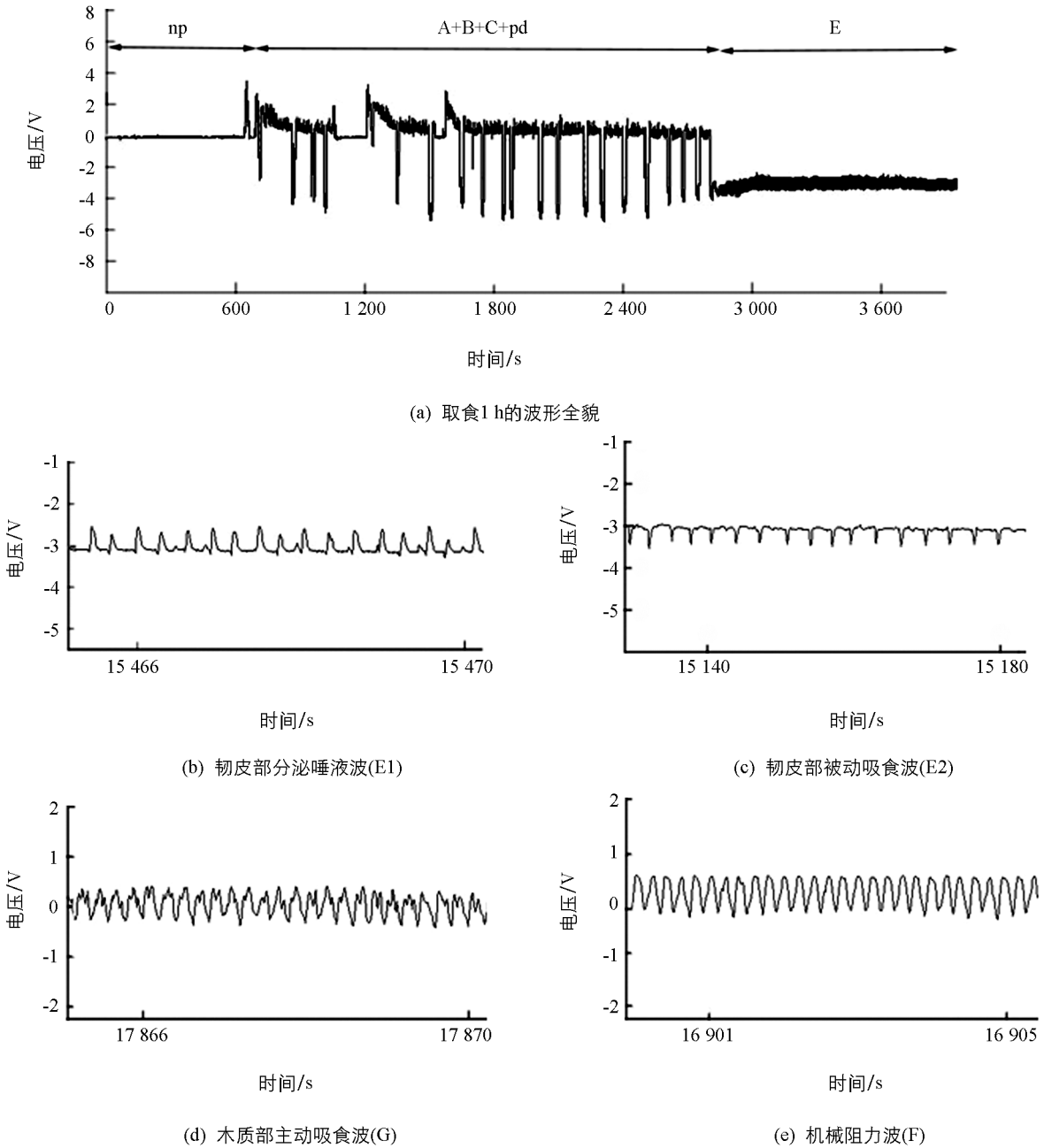


图 1 桃蚜各个取食波形

表 2 茎瘤芥 3 种蚜虫主要 EPG 参数比较

| EPG 参数         | 桃蚜            | 萝卜蚜           | 甘蓝蚜           |
|----------------|---------------|---------------|---------------|
| C 波总持续时间/min   | 135.89±15.33b | 199.34±15.62a | 191.59±20.16a |
| pd 波的次数        | 127.70±18.96a | 145.45±15.22a | 110.35±13.04a |
| pd 波总持续时间      | 15.05±4.42a   | 17.48±1.98a   | 18.42±3.51a   |
| E1 波的次数        | 9.65±1.82a    | 10.40±1.28a   | 4.85±0.86b    |
| E1 波的总持续时间/min | 31.22±11.06a  | 11.45±3.40ab  | 5.07±0.96b    |
| E2 波的次数        | 7.35±1.15ab   | 8.20±1.19a    | 4.20±0.72b    |
| E2 波总持续时间/min  | 125.59±16.71a | 99.68±19.07a  | 136.16±22.73a |
| G 波的次数         | 1.90±1.29a    | 0.15±0.08b    | —             |
| G 波总持续时间/min   | 10.05±4.75a   | 0.93±0.88b    | —             |

注：同行数据小写字母不同表示  $p<0.05$ ，差异有统计学意义。

2.3 蚜虫个体取食特征分析

3 种蚜虫的取食行为存在种间差异性,进一步分析了个体取食特征,发现 3 种蚜虫各不相同.桃蚜和萝卜蚜出现了机械阻力波(F 波)和木质部主动吸食波(G 波),但两种波的持续时间极其短暂,在长达 6 h 的测试中近乎为 0.甘蓝蚜和萝卜蚜的 C 波分别占总时间的 53.22%,55.37%,E1 波(分别为 1.41%,3.18%)和 E2 波(分别为 37.82%,27.69%)所占比重较小.说明甘蓝蚜和萝卜蚜约一半多时间都在叶表、叶肉组织和韧皮部筛管分子外刺探,在韧皮部摄取营养物质的时间较少.桃蚜仅约 37.75%的时间用于韧皮部前的刺探(C 波),相比之下,韧皮部耗时更多,E1 波为 8.67%和 E2 波为 34.89%,表明桃蚜在韧皮部吸食汁液花费了更多时间(图 2).

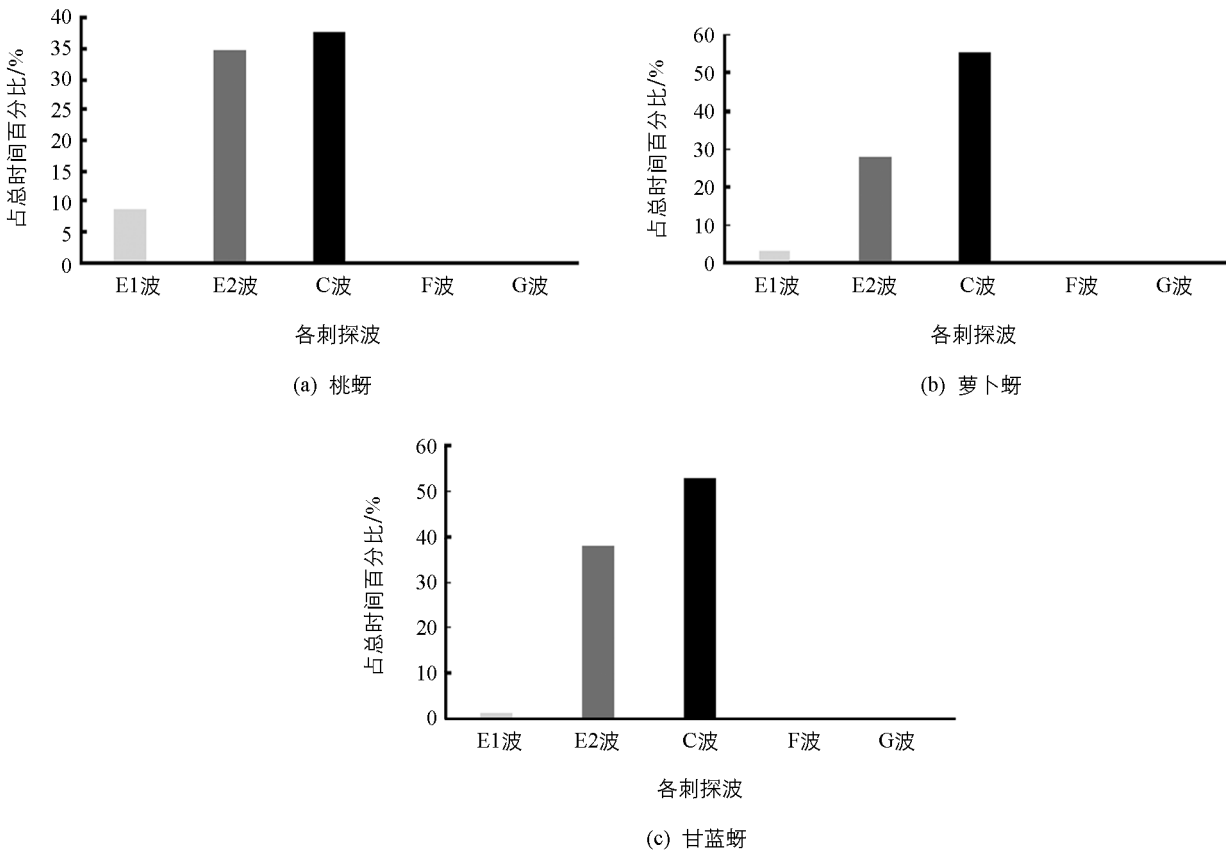


图 2 3 种蚜虫各个刺探阶段所占总时间百分比

2.4 繁殖力比较

为了进一步明确 3 种蚜虫在茎瘤芥上的适应性,试验进行了生殖力测定(图 3).结果表明,3 种蚜虫的生殖力差异有统计学意义.萝卜蚜的产仔量最多,每雌成蚜约产仔 116 头;其次为桃蚜,约 85 头;甘蓝蚜的产仔量最低,仅 65 头.说明萝卜蚜在茎瘤芥上的适应性最强,其次为桃蚜,甘蓝蚜的适应性最弱.

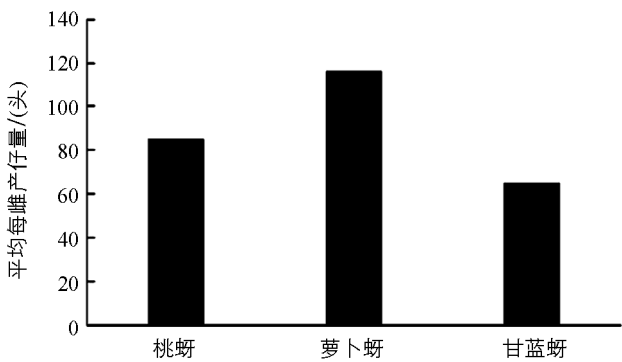


图 3 3 种蚜虫的繁殖力比较



### 3 讨论与结论

本试验中,桃蚜取食茎瘤芥产生 9 种波形,分别为 np 波,A 波,B 波,C 波,pd 波,E1 波,E2 波,F 波和 G 波,与薛承美<sup>[22]</sup>对桃蚜取食芥菜的研究结果一致,桃蚜均产生了以上 9 种波形;而李进进<sup>[23]</sup>对桃蚜取食除虫菊和祝愿等<sup>[24]</sup>对桃蚜取食杭菊的研究中,并未发现桃蚜产生 F 波.研究发现,甘蓝蚜没有产生 G 波和 F 波,这与 Canassa 等<sup>[25]</sup>的研究结果不同,该团队证实甘蓝蚜在取食抗病、感病两种基因型羽衣甘蓝时产生了 G 波,但不产生 F 波,上述原因是否与寄主植物有关有待进一步研究.

韧皮部和木质部取食是衡量蚜虫寄主适应性的重要指标,姜永幸等<sup>[26]</sup>发现,C 波也能反映寄主的适应性.本研究重点就 C 波,E1 波,E2 波,G 波等 4 个指标分别在 3 种蚜虫的种间差异性和蚜虫个体取食特征两个层面进行了分析.种间 EPG 参数分析发现,萝卜蚜和甘蓝蚜在叶肉和韧皮部筛分子外部刺探(C 波)的总持续时间显著长于桃蚜,表现出较低的适应性.该阶段刺探次数多、时间长,难以找到合适的吸食位点,取食效率降低<sup>[10]</sup>.蚜虫唾液中的蛋白酶、淀粉酶和蔗糖酶等对食物进行初步消化有助于提高蚜虫对食物的利用率<sup>[27]</sup>,甘蓝蚜分泌唾液次数(E1 波)、被动吸食次数(E2 波)显著小于桃蚜和萝卜蚜,说明甘蓝蚜对茎瘤芥营养物质的利用率和摄取能力不及桃蚜和萝卜蚜.试验未检测到甘蓝蚜在木质部进行取食,而木质部则是蚜虫摄取水分和无机盐的部位<sup>[28]</sup>.此外,甘蓝蚜的繁殖力最低,各项指标均表明甘蓝蚜对茎瘤芥的适应性差.顾丽元<sup>[29]</sup>研究不同生物型烟蚜取食烟草时发现,烟草型桃蚜的非韧皮部刺探次数(C 波)显著减少、韧皮部取食(E1 波,E2 波)总持续时间显著增加.本试验与该研究结果相符,桃蚜在整个取食过程中对茎瘤芥的适应性最强.例如,桃蚜在叶肉和韧皮部筛分子外部刺探(C 波)时间显著短于萝卜蚜和甘蓝蚜,韧皮部(E1 波,E2 波)刺探次数与萝卜蚜相当但显著长于甘蓝蚜,木质部取食时间显著长于萝卜蚜等.

3 种蚜虫具有不同的取食策略.甘蓝蚜和萝卜蚜在叶表皮、叶肉和韧皮部筛分子外部刺探花费了较多时间(分别为 53.22%,55.37%),韧皮部取食时间较短;相反,桃蚜 C 波刺探时间仅占总时间的 37.75%,而韧皮部(E1 波,E2 波)取食时间较长,因此,个体取食特征也反映了 3 种蚜虫的适应性差异.从取食行为来看,桃蚜对茎瘤芥的适应性高于萝卜蚜,但繁殖力不及萝卜蚜,其生物学意义有待进一步研究.该研究结果与李向东<sup>[30]</sup>对蚜虫在烟草上的适生性研究结果不符,他发现适生性良好的桃蚜繁殖力高于萝卜蚜.从繁殖力角度来讲,萝卜蚜对茎瘤芥的适生性高于桃蚜.那么,萝卜蚜在其他植物上的繁殖力是否也高于桃蚜有待进一步研究.据此推测,在复杂的农业生态系统中,萝卜蚜在某些适宜寄主植物上繁衍,适宜寄主一旦消失(如农业采收、田间管理等),则会转移到茎瘤芥上同桃蚜竞争取食,以其较高的繁殖力很快在生态位中占据优势.综合分析,从取食行为来看,桃蚜对茎瘤芥的适应性最强,结合繁殖力明确了萝卜蚜具有较强的适应潜力.

本试验基于 EPG 技术,从行为学角度研究了蚜虫对茎瘤芥的适应性,并结合繁殖力试验进行了验证,研究蚜虫对寄主植物的适应性还需结合田间种群数量、建立种群生命表等进一步开展研究.

#### 参考文献:

- [1] 施曼玲. 浙江榨菜病毒病原鉴定 [J]. 微生物学通报, 2003, 30(6): 51-55.
- [2] 赵建平. 榨菜 TuMV 外壳蛋白基因的克隆、序列分析及其侵染植物的生物学特性 [D]. 杭州: 浙江大学, 2004.
- [3] 姜永幸, 郭予元. EPG 技术在刺吸式昆虫取食行为研究中的应用 [J]. 植物保护, 1994, 20 (2): 33-35.
- [4] TJALLINGII W F. Electronic Recording of Penetration Behaviour by Aphids [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1978, 24(3): 721-730.
- [5] JIMÉNEZ J, TJALLINGII W F, MORENO A, et al. Newly Distinguished Cell Punctures Associated with Transmission

- of the Semipersistent Phloem-Limited Beet Yellows Virus [J]. *Journal of Virology*, 2018, 92(21): 1-14.
- [6] TJALLINGII W F. Salivary Secretions by Aphids Interacting with Proteins of Phloem Wound Responses [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2006, 57(4): 739-745.
- [7] PENG H C, WALKER G P. Sieve Element Occlusion Provides Resistance Against *Aphis Gossypii* in TGR-1551 Melons [J]. *Insect Science*, 2020, 27(1): 33-48.
- [8] 何应琴, 曾贤义, 程 浅, 等. 不同体色生物型烟蚜的取食特性分析 [J]. *植物保护学报*, 2017, 44(2): 298-304.
- [9] KOCH K G, PALMER N, STAMM M, et al. Characterization of Greenbug Feeding Behavior and Aphid (Hemiptera: Aphididae) Host Preference in Relation to Resistant and Susceptible Tetraploid Switchgrass Populations [J]. *BioEnergy Research*, 2015, 8(1): 165-174.
- [10] 赵如娜, 何应琴, 鲁卓越, 等. 基于 EPG 分析无翅型和有翅型柑橘蚜虫的取食行为 [J]. *植物保护学报*, 2018, 45(2): 223-227.
- [11] POWELL G. Intracellular Salivation is the Aphid Activity Associated with Inoculation of Non-Persistently Transmitted Viruses [J]. *The Journal of General Virology*, 2005, 86(2): 469-472.
- [12] 刘英杰. 马铃薯卷叶病毒介导的桃蚜生理应答、取食与防御行为研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2017.
- [13] 陈文龙, 鲁卓越, 何应琴, 等. CTV 强弱毒株促进褐色橘蚜的取食 [J]. *植物病理学报*, 2018, 48(3): 428-432.
- [14] PRADO MALUTA N K, GARZO E, MORENO A, et al. Stylet Penetration Activities of the Whitefly *Bemisia Tabaci* Associated with Inoculation of the Crinivirus Tomato Chlorosis Virus [J]. *Journal of General Virology*, 2017, 98(6): 1515-1520.
- [15] 张 琼. 长沙地区两种网蝽科害虫的 EPG 取食特性研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2017.
- [16] 刘小青. 褐飞虱 TRPV 通道两个亚型基因与取食行为关系 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.
- [17] 何章章, 华登科, 杜田华, 等. 柑橘大实蝇成虫在中国板栗雄花花序上的取食行为 [J]. *昆虫学报*, 2018, 61(4): 458-467.
- [18] 刘丽芳. 茶树不同品种和次生代谢物质对叶蝉取食行为影响的 DC-EPG 研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2011.
- [19] 胡想顺, 赵惠燕, 胡祖庆, 等. 禾谷缢管蚜在三个小麦品种上取食行为的 EPG 比较 [J]. *昆虫学报*, 2007, 50(11): 1105-1110.
- [20] TJALLINGII W F. Membrane Potentials as an Indication for Plant Cell Penetration by Aphid Stylets [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1985, 38(2): 187-193.
- [21] 阎凤鸣. 芥子油苷在甘蓝蚜寄主部位选择行为中的作用 [J]. *昆虫学报*, 2000, 43(3): 297-304.
- [22] 薛承美. EPG 结合实时荧光定量 PCR 对新蚜虫病菌侵染桃蚜致病机理初探 [D]. 杭州: 中国计量学院, 2014.
- [23] 李进进. (E)-beta-法尼烯介导的除虫菊一蚜虫一瓢虫分子生态机制研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2019.
- [24] 祝 愿, 王梦馨, 崔 林, 等. 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 [J]. *植物保护学报*, 2019, 46(2): 425-433.
- [25] CANASSA V F, BALDIN E LL, LOURENÇÃO A L, et al. Feeding Behavior of *Brevicoryne Brassicae* in Resistant and Susceptible Collard Greens Genotypes: Interactions among Morphological and Chemical Factors [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2020, 168(3): 228-239.
- [26] 姜永幸, 郭予元. 棉蚜在不同棉花品种上的取食行为及相对取食量的研究 [J]. *植物保护学报*, 1996, 23(1): 1-7.
- [27] URBANSKA A, TJALLINGII W F, DIXON A F G, et al. Phenol Oxidising Enzymes in the Grain Aphid's Saliva [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1998, 86(2): 197-203.
- [28] SPILLER N J, KOENDERS L, TJALLINGII W F. Xylem Ingestion by Aphids: a Strategy for Maintaining Water Balance [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1990, 55(2): 101-104.
- [29] 顾丽元. 桃蚜寄主转化的适应性研究 [D]. 保定: 河北大学, 2018.
- [30] 李向东. 五种蚜虫对烟草品种 K326 的适生性研究 [C] // 李忠环. 动物学研究: 云南省昆虫学会 2011 年学术年会论文集. 北京: 科学出版社, 2011.

## Research of the Feeding Behaviors of Three Aphid Species Attacking *Brassica juncea* var. *tumida* and Their Fitness

YAN Yu-fang<sup>1,2</sup>, ZHAO Ru-na<sup>2</sup>, CHEN Wen-long<sup>2</sup>,  
JIANG Huan<sup>1</sup>, WU Chao-jun<sup>1</sup>, WANG Xu-yi<sup>1</sup>

1. Chongqing Yudongnan Academy of Agricultural Sciences, Fuling Chongqing 408000, China;

2. Guizhou Key Laboratory of Plant Disease and Pest Management for Mountain Agriculture,  
Institute of Entomology, Guizhou University, Guiyang 550025, China

**Abstract:** To explore the differences in feeding behavior and fitness of three aphid species on tumorous stem mustard (*Brassica juncea* var. *tumida* Tsen et Lee), the feeding behaviors and fecundity of *Myzus persicae* (Sulzer), *Lipaphis erysimi* (Kaltenbach) and *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus) were studied by EPG (electrical penetration graph). Nine EPG waveforms were detected in both *M. persicae* and *L. erysimi*, i. e. np wave, A wave, B wave, C wave, pd wave, E1 wave, E2 wave, G wave and F wave, and there were only seven EPG waveforms in *B. brassicae*, with no G wave and F wave. The duration of C wave of *B. brassicae* and *L. erysimi* were significantly longer than that of *M. persicae*. The E1 wave, E2 wave and total probe duration of *M. persicae* were significantly longer than those of *B. brassicae*. The times and total duration of penetration in xylem (G wave) of *M. persicae* were significantly higher than those of *L. erysimi*. There were no significant differences in number and total duration of pd wave. From the perspective of feeding characteristics, it took more time to repeatedly penetrate (C-wave) before reaching phloem for *B. brassicae* and *L. erysimi*, and more time to continuously suck nutrients in phloem (E1 wave and E2 wave) for *M. persicae*. *L. erysimi* had the strongest fecundity (about 116), followed by *M. persicae* (about 85), and the fecundity of *B. brassicae* was the weakest (about 65). EPG analysis indicated that the feeding strategies of the three aphid species were different. *M. persicae* had the best fitness in feeding behavior, and fitness potential of *L. erysimi* was great on *B. juncea* in fertility.

**Key words:** aphid; electrical penetration graph; feeding behavior; *Brassica juncea* var. *tumida* Tsen et Lee; fitness

责任编辑 周仁惠