

假眼小绿叶蝉 (*Empoasca vitis* Gothe) 在不同品种茶树上的取食行为

苗 进 韩宝瑜*

(农业部茶叶化学工程重点开放实验室,中国农业科学院茶叶研究所 杭州 310008)

摘要 应用可视 DC-EPG 方法研究了假眼小绿叶蝉 (*Empoasca vitis* Gothe) 在 9 个品种茶苗上的口针刺探行为,共发现并初步确定了 7 种主要波型,即 A 波、S 波、C 波、E 波、F 波和 R 波,以及非刺探波 NP 波。A 波为刺探波,S 波为口针向韧皮部刺探和进入韧皮部中的分泌唾液波,C 波为口针到达韧皮部之前的主动取食波,E 波和 F 波为口针在韧皮部中吸收波,R 波为取食间歇波。以该叶蝉在不同品种茶树上的平均刺探次数和各波形平均持续时间为指标,或者以其在不同品种茶树上含有各波形的单次刺探平均持续时间为指标,分别进行聚类分析,均将 9 个品种分为 3 个不同的组。S、E 和 F 波对应着假眼小绿叶蝉在茶树上的主要取食活动,可能与茶树抗假眼小绿叶蝉的取食密切相关。以 S、E 和 F 各波的平均持续时间、以及含有各波形的单次刺探的平均持续时间为指标,对品种的抗性强弱排序,评判 9 个茶树品种抗叶蝉取食能力由强至弱的顺序为:龙井长叶、黄旦、政和大白茶、黔湄 601、红芽佛手、中茶 102、中茶 302、龙井 43 和安吉白茶。该顺序与田间查得的 9 个品种茶树上假眼小绿叶蝉种群密度由小到大的顺序一致,表明 DC-EPG 方法简捷、可信度高,可作为检测茶树品种对叶蝉抗性的有效手段之一。

关键词 假眼小绿叶蝉 取食行为;DC-EPG 聚类分析 茶树抗性

文章编号:1000-0933 (2007)10-3973-10 中图分类号:Q143,Q968 文献标识码:A

The probing behavior of the tea green leafhopper on different tea plant cultivars

MIAO Jin, HAN Bao-Yu*

Key Laboratory of Tea Chemical Engineering of Ministry of Agriculture, Tea Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310008, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (10) 3973 ~ 3982.

Abstract: The probing behaviors of the tea green leafhopper, *Empoasca vitis* Gothe, on nine tea cultivars were studied by videotext Direct Current-Electrical Penetration Graph, i. e. DC-EPG. Following seven types of waveforms produced by the leafhopper stylet probing were determined: A, stylet pathway formation; S, salivation when stylets pierce into and stay in phloem; C, active ingestion before stylets reach phloem; E and F, passive ingestion in phloem; R, the insect resting with its stylet inserted into the leaf tissue and NP, not probing. The nine tested tea cultivars were categorized into three groups by cluster analysis according to the number of probes per insect, waveform durations, or duration per probe including various waveforms on different tea cultivars. Waveforms S, E and F correlated to the main feeding activity of the leafhoppers and may provide valuable information on predicting the resistance levels of the tea plants to the leafhopper. The resistance level of the nine tea cultivars to the leafhopper was ranked based on the durations of waveform S, E and F, as well as the

基金项目 国家自然科学基金资助项目 (30571256) 浙江省青年人才专项资助项目 (R304451) 中国农科院院长基金课题资助项目 (2005-42)

收稿日期 2007-01-23; 修订日期 2007-08-09

作者简介 苗进 (1977~) 男, 河北人, 博士生, 主要从事昆虫化学生态学。E-mail: miaojin1977@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: han-insect@263.net

Foundation item The project was financially supported by from National Natural Science Foundation of China (No. 30571256), youth talent training project of Natural Science Foundation of Zhejiang Province (No. R304451), and Natural Science Foundation of CAAS (No. 2005-42)

Received date 2007-01-23; **Accepted date** 2007-08-09

Biography MIAO Jin, Ph. D. candidate, mainly engaged in chemical ecology of insects. E-mail: miaojin1977@163.com

duration every probe including various waveforms. The ranking order of the resistance was :Longjingchangye > Hangdan > Zhenghedabaicha > Qianmei 601 > Hongyafoshuo > Zhongcha 102 > Zhongcha 302 > Longjing 43 > Anjibaicha , which was correspondent to the resistance level determined by the population density (infestation) of the leafhopper on the nine tea cultivars in the tea fields. Our study suggests that this simple and convenient DC-EPG technique might have great potential as a reliable tool to predict the resistance of tea cultivars to the tea leafhoppers.

Key Words : tea green leafhopper ; probing behavior ; DC-EPG ; cluster analysis ; tea plant resistance

假眼小绿叶蝉 (*Empoasca vitis* Gothe) 是广布于我国茶区的重要害虫, 成、若虫趋嫩刺吸为害茶树幼嫩芽叶和嫩茎, 雌成虫产卵于嫩茎里, 致芽叶叶缘黄化、叶尖卷曲、以至于叶脉暗红, 芽梢生长迟缓、停滞, 严重时叶尖、叶缘红褐焦枯, 茶叶减产、品质低劣。几十年来主要依靠化学防治, 一般地每年施药 10 多次。前人期望利用茶树种质对叶蝉的抗性。如用水培茶枝, 配对接种雌、雄叶蝉成虫, 统计后代卵量及存活成、若虫虫口, 从 60 余份资源中选出对该叶蝉有显著抗性的 8 份资源和高感的 2 份资源^[1]。于笼内饲养叶蝉, 统计产卵量, 观察田间产卵选择性, 调查田间种群密度等试验, 分析茶叶咖啡碱等成分的含量、叶片解剖结构与叶蝉虫口相关性^[2], 以及长期观察田间叶蝉虫口密度^[3], 肯定了茶树种质对叶蝉有着抗性和感性。但研究周期长, 抗性描述的多, 很少量化研究茶树种质资源与抗性的关系。作物抗虫性通常表现为不选择性、抗生性和补偿能力, 而抗性机制的分析和抗性强弱的评判很复杂。刺探电位 (electrical penetration graph, EPG) 是近些年研发的、一种辅助性的抗虫研究的快速检测技术, 灵敏快速, 可作量化分析。

EPG 是在 Mclean & Kinsey 1964 年设计、制造的昆虫取食监测仪 (electrical feeding monitor)^[4]基础上, 于 20 世纪 80 年代末发展成熟的专门用于检测植食性刺吸式昆虫 (蚜虫、粉虱等) 在寄主植物上刺探、取食行为的一种手段。其基本原理是将供试昆虫和植物分别与刺探电位放大器上的昆虫电极和植物电极相连接, 当昆虫口针刺入植物组织时, 回路接通。根据昆虫口针在刺探过程中不同行为, 相应地在系统输出端获得一系列不同的信号, 即刺探电位波形。刺探电位波形因昆虫种类、以及口针在植物组织内的位置和取食生理而异。如果整个系统的设计基于交流电路, 则称为 AC-EPG, 若基于直流电路, 则称为 DC-EPG。刺探电位技术的核心在于准确建立刺探电位波形及其历时与刺探、取食行为之间的对应关系, 以解析植物对害虫的抗性或感性。目前, 大多数 EPG 研究不再限于建立不同种昆虫的刺探、取食行为波形, 而是建立在波形基础上的刺吸式昆虫对寄主植物的选择性、昆虫传播植物病毒机理、植物抗虫机制、以及内吸性农药的测定等行为生态学研究, 成为昆虫生理学的研究热点之一^[5]。研究对象由过去的以蚜虫为主扩展到包括粉虱、叶蝉和蓟马等绝大多数刺吸式昆虫。

Crane^[6]1970 年应用 AC-EPG 研究了叶蝉 *Hordnia circlata* Baker 在人工饲料上的取食行为后, AC-EPG 技术开始广泛应用于叶蝉科 (Cicadellidea) 昆虫取食行为的研究^[7-9]。根据叶蝉类昆虫取食部位的不同, 分为维管取食类和撕裂叶肉细胞取食类, 大部分体型较小的叶蝉科昆虫, 如小绿叶蝉等属于前者, 但有些昆虫也会因寄主植物的不同, 取食行为发生变化^[10]。本文在前人的基础上, 参考维管取食类叶蝉^[10]、以及蚜虫^[11-13]和粉虱^[14-16]的波形, 首次探讨了假眼小绿叶蝉 3 龄若虫在茶树新梢上刺探电位波形的类型及其与刺探取食行为之间的对应关系, 研究了假眼小绿叶蝉 3 龄若虫在 9 个不同茶树品种上取食行为的差异, 拟为茶树对叶蝉抗性的深入研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试植物与昆虫

供试茶苗品种为安吉白茶、黔湄 601、政和大白茶、黄旦、红芽佛手、龙井 43、龙井长叶、中茶 102 和中茶 302, 种植于本所自动调温调湿温室中, 株高 20 cm 左右, 由本所生物技术课题组提供。假眼小绿叶蝉系定居于中国农科院茶叶所试验茶园的天然种群, 取大小一致的 3 龄若虫于网罩中的小茶苗上饲养半日, 实验前放

入试管中饥饿 2 h。

1.2 刺探电位波形的记录方法

刺探电位仪放大器型号为 DC-EPG Giga-8, 购自荷兰 Wageningen 农业大学昆虫学系。首先将铜丝焊接在昆虫电极 (铜钉) 上, 然后剪取一段直径 10 μm 长约 5 cm 的金丝, 用导电银胶将其粘在铜丝上。将培养皿置于冰上, 将叶蝉若虫轻轻移入皿中, 迅速盖上皿盖, 待叶蝉不动时用毛笔轻轻调整其位置, 使背部朝上。金丝端部蘸入银胶滴, 小心地粘接金丝于叶蝉中胸背板。粘连时间尽量短, 因为银胶易干。叶蝉若虫粘好后, 小心地把连有叶蝉的昆虫电极插入放大器的输入探头, 然后用微量调节器 (可上下、前后、左右 3 个方向调节) 把整个输入探头抬升至茶苗芽下第 2 叶的下表面, 使叶蝉若虫接触叶表面。金丝细软, 叶蝉可在一定范围内自由活动。放大器的植物电极 (直径约 2 mm, 长约 10 cm 的铜棒) 插在茶苗的盆栽土壤里。负责接收输入探头传来的电信号并转成数字信号的是一块 A/D 卡 (id-710 型), 该卡连在电脑上, 支持软件为可视软件 STYLET 3.7。刺探电位波形的信号显示在屏幕上和自动保存在计算机硬盘上, 由实验者来识别、分析波形。每头假眼小绿叶蝉若虫只用于 1 次记录, 每次记录 5 h, 每次测试 4 头, 选每个茶树品种成功测试的 10 头叶蝉的 EPG 刺探行为做统计分析。

2 结果和分析

2.1 假眼小绿叶蝉在茶树上的 EPG 波型

假眼小绿叶蝉在茶树上取食时产生了 6 种不同的波型, 即 A 波、S 波、C 波、R 波、E 波、F 波 (图 1), 波型种类、形状特征和出现时间与 Jean-Michel Lett 等^[10]测得的假眼小绿叶蝉近缘种 *Cicadulina mbila* Naudé (Homoptera: Cicadellidae) 在玉米上的取食波基本一致。A 波主要发生在刺探的最初阶段, 持续时间较短, 为 5~30 s, A 波有时振幅变化较大, 但一般比紧随的 S 波、C 波振幅小, 是一种频率在 0.05~0.2 Hz 之间的低频波 (图 1:1 和 7)。S 波紧随在 A 波之后, 也经常出现在 E 波或 F 波之间, 持续时间 5 s 至数分钟, 频率在 0~10 Hz, 主频一般在 0.4 Hz 左右 (图 1:6 和 12)。C 波一般出现在 S 波之后, 引导 E 或 F 波的出现, 振幅较大 (1~3 V), 持续时间短 (0~60 s) 的波形, 主波频率 5~7 Hz, 谐波频率在 8~15 Hz (图 1:4 和 10)。E 和 F 波一般出现在 C 波之后, 但与 C 波之间并没有明显的界限, E 波和 F 波也不一定同时存在, E 和 F 波振幅在 0.05~0.5 V 之间, 频率为 3~5 Hz (图 1:2、8、3 和 9)。R 波没有固定波形, 出现也没有明显的规律, 持续时间一般在几分钟到几个小时。

2.2 假眼小绿叶蝉在不同品种茶树上刺吸行为异同

2.2.1 不同品种上刺探次数的多少和各波型历时的长短及聚类分析

5 h 内假眼小绿叶蝉在不同品种茶树上平均刺探次数和各波型平均持续时间列于表 1。在 5 h 测试时间内 10 头供试叶蝉在不同品种茶树上平均刺探次数、各波型平均持续时间都存在较大差异。但在同一品种上, 刺探次数越多, S 和 F 波的平均持续时间就越长, E 波的平均持续时间则越短, 如龙井长叶; 反之, 刺探次数越少, S 和 F 波的平均持续时间越短, E 波的平均持续时间则越长, 如龙井 43 和安吉白茶。但也有比较特殊的品种, 假眼小绿叶蝉在黄旦上平均刺探次数较少, 但 F 波的平均持续时间却很长, E 波的平均持续时间较短。

从假眼小绿叶蝉在不同品种茶树上取食时各波型平均持续时间占总时间的百分比来看 (图 2), 在任何品种上, 非刺探时间 (NP 波) 所占的比例都是最大的, 而在所有刺探波中, S、E 和 F 波所占比例较大, 应为主要波形。但品种间也有着较大差异, 如在安吉白茶品种上取食时, S 波平均持续时间占总时间 1%, E 波占 20%, F 波占 5%, 而在龙井长叶上取食时则分别占总时间的 5%、4% 和 10%。A 波和 C 波所占比例较小, 一般不超过总时间的 3%。R 波所占比例在不同品种间变化较大, 从 10% (安吉白茶) 到 1% (龙井长叶) 不等。

以叶蝉在不同品种茶树上取食时的平均刺探次数和各取食波的平均持续时间为指标, 进行系统聚类 (最长距离法) 分析 (图 3)。将 9 个品种归纳为三大类型如下:

第 I 类 2 个品种, 安吉白茶和龙井 43。

第 II 类 5 个品种, 黔眉 601、政和大白茶、红芽佛手、中茶 102 和中茶 302。

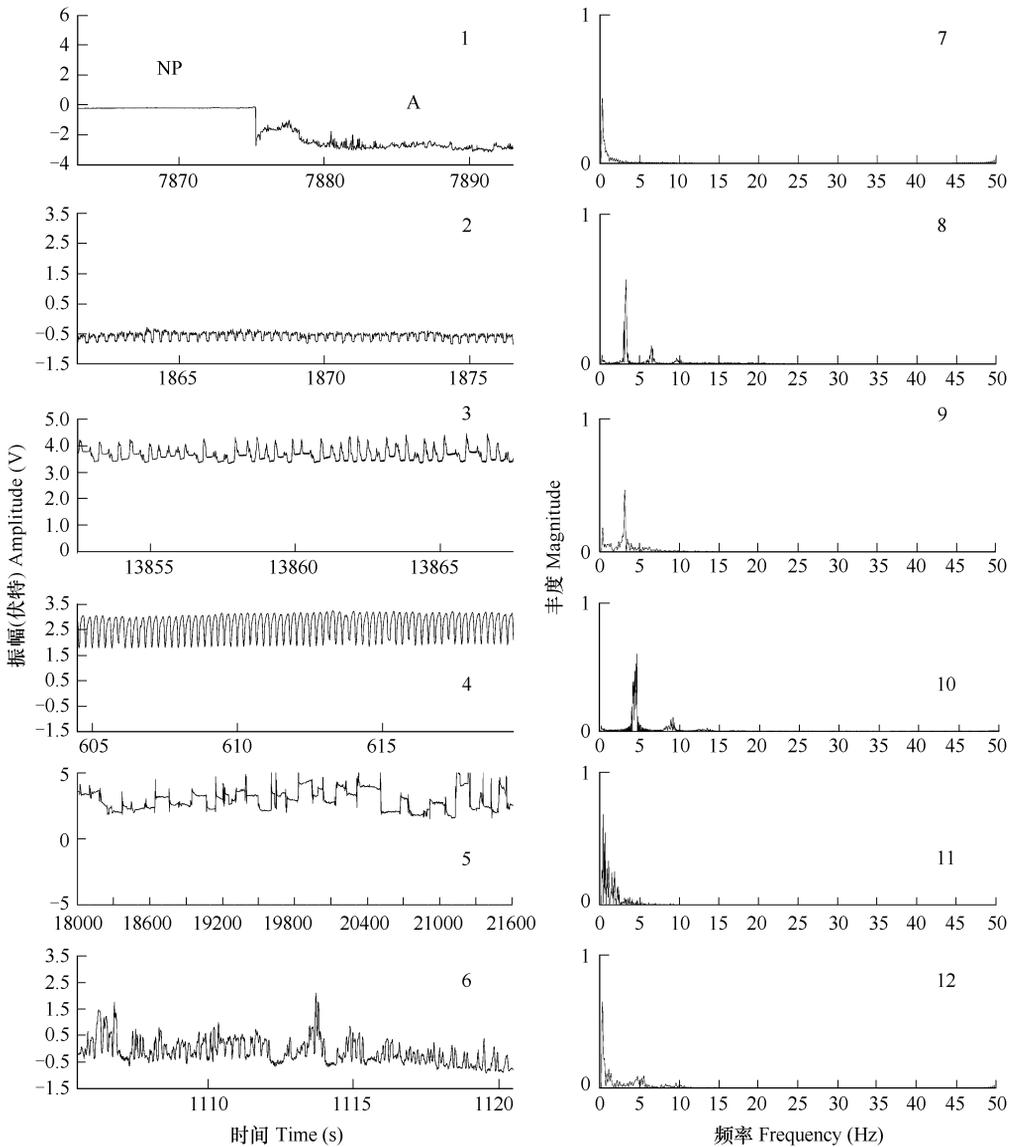


图1 假眼小绿叶蝉在茶树上的 EPG 波型和各波型对应的频率

Fig. 1 EPG waveforms by tea green leafhopper feeding behaviour on tea shoots and temporal traces and spectral analysis of each waveform

NP 波 (1); A 波 (1, 7); E 波 (2, 8); F 波 (3, 9); C 波 (4, 10); R 波 (5, 11); S 波 (6, 12)

waveform NP (1); waveform A (1 and 7, respectively); waveform E (2 and 8, respectively); waveform F (3 and 9, respectively);

waveform C (4 and 10, respectively); waveform R (5 and 11, respectively); Waveform S (6 and 12, respectively)

第三类 2 个品种,龙井长叶和黄山。

对三大类各指标平均数进行方差分析表明(表 2),三大类间平均刺探次数, A 波、S 波和 C 波平均持续时间的差异未达到显著水平。E 波的平均持续时间在第 I 大类中最长,在第 III 大类中最短,两者之间差异显著 ($p < 0.05$),第 II 大类居中。而 F 波和 NP 波的平均持续时间在第 I 大类中最短,在第 III 大类中最长,两者之间差异显著 ($p < 0.05$),第 II 大类居中。该叶蝉在此三大类茶树品种上的取食行为有着明显不同。

2.2.2 不同品种上单次刺探过程中各波型平均持续时间的差异及聚类分析

单次刺探 (every probing) 指叶蝉在茶树上一次完整的刺探,在该过程中可出现许多波型。单次刺探中各波型平均持续时间的长短可作为昆虫 EPG 研究的重要指标,与植物抗虫性相关。假眼小绿叶蝉在不同品种茶树上取食时,单次刺探过程中各波型平均持续时间见表 3。将单次刺探中各波型平均持续时间作为指标进行系统聚类 (最长距离法) 分析 (图 4),也将 9 个品种归纳为三大类型:

接表 1 表 2

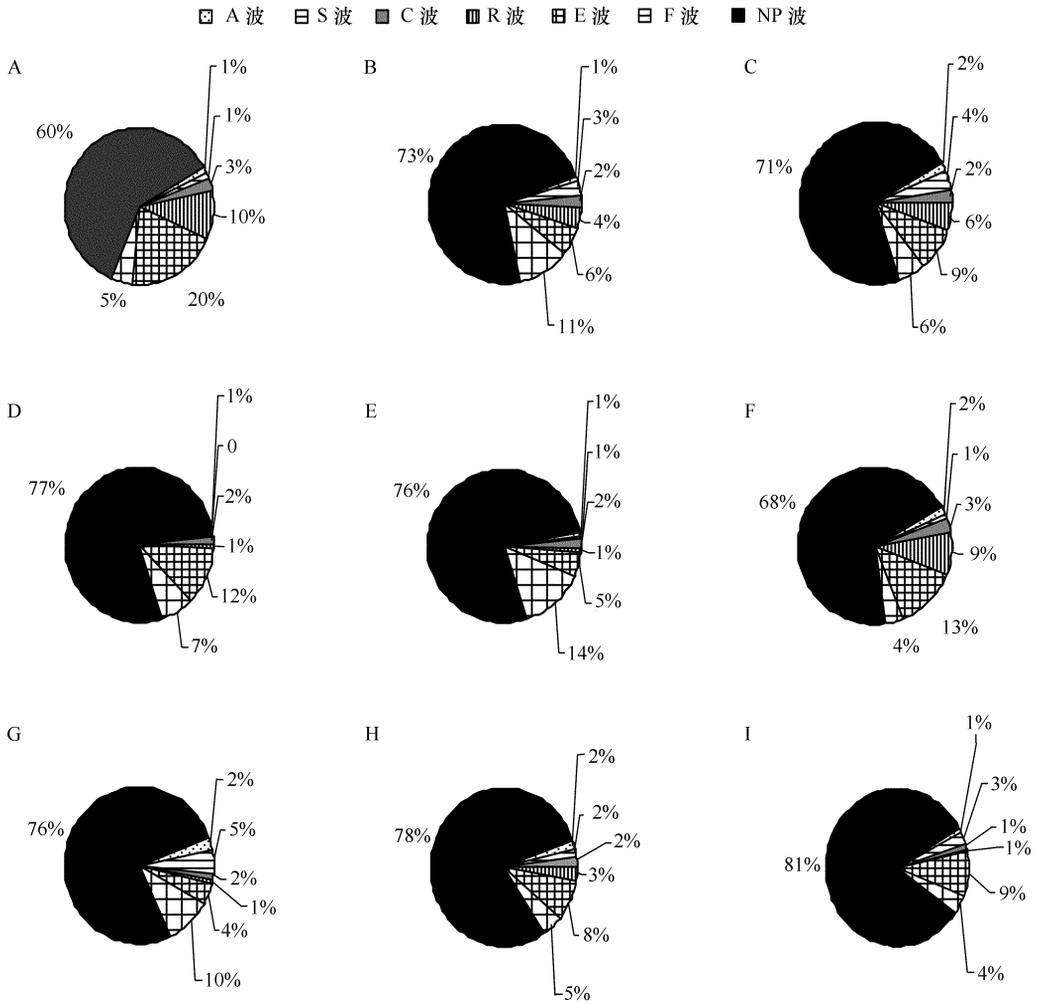


图 2 5 h 中假眼小绿叶蝉在 9 种不同品种茶树上各取食波型平均持续时间占总时间的百分率

Fig. 2 Average durations of various waveforms and their percentages occupied total tested time recorded by tea green leafhoppers on 9 tea cultivars during 5 h

A 安吉白茶 B 黔眉 601 C 政和 大白茶 D 红芽佛手 E 龙井 43 F 黄旦 G 龙井长叶 H 中茶 102 I 中茶 302

A :Anjibaicha ;B :Qianmei-601 ;C :Zhenghedabaicha ;D :Hongyafoshuo ;E :Huangdan ;F :Longjin-43 ;G :Longjingchangye ;H :Zhongcha 102 ;I :Zhongcha-302

第 I 类 1 个品种 ,安吉白茶

第 II 类 4 个品种 ,龙井 43、红芽佛手、中茶 102、中茶 302。

第 III 类 4 个品种 ,黔眉 601、政和 大白茶、龙井长叶和黄旦。

对三大类各指标平均数进行方差分析表明 (表 4) ,在三大类间 A 波、S 波和 F 波平均持续时间上无明显差异。E 波的平均持续时间在第 I 大类中最长 ,在第 III 大类中最短 ,第 II 大类居中 ,E 波在三大类之间差异达到显著水平 ($p < 0.05$)。假眼小绿叶蝉在此三大类品种茶树上的取食行为明显不同。

3 讨论

3.1 假眼小绿叶蝉在茶树上的 EPG 波型特征

昆虫取食行为反应了昆虫对寄主植物的嗜好程度及寄主植物对昆虫的可适性。取食行为的研究有助于揭示植物抗性机理 ,为干扰害虫的取食、对寄主的选择、或研发治虫新技术提供线索。自从 EPG 技术问世以来 ,针对刺吸式害虫取食行为的研究受到普遍关注 ,借助于对刺探过程中电波信号的记录和分析、同位素标记、组织学观察和显微摄像等研究成果 ,证实了 EPG 波型与昆虫口针行迹密切相关。

表 3 假眼小绿叶蝉在 9 个品种茶树上单次刺探中含有的 6 种波型的平均持续时间 (min)

Table 3 Average durations of 6 important waveforms in every probing by tea green leafhoppers on 9 tea plant cultivars (min)

品种* Cultivar	A 波 A wave	S 波 S wave	C 波 C wave	R 波 R wave	E 波 E wave	F 波 F wave
安吉白茶 Anjibaicha	0.27 ± 0.04ab	0.20 ± 0.05c	0.83 ± 0.47a	2.47 ± 1.07a	6.32 ± 2.18a	1.37 ± 0.58a
黔湄 601 Qianmei 601	0.12 ± 0.02b	0.24 ± 0.07bc	0.47 ± 0.13ab	0.94 ± 0.49a	0.85 ± 0.20b	2.24 ± 0.89a
政和大白茶 Zhenghedabaicha	0.20 ± 0.04ab	0.28 ± 0.09abc	0.28 ± 0.05ab	1.33 ± 1.20a	1.26 ± 0.36b	1.18 ± 0.60a
红崖佛手 Hongyafoshuo	0.17 ± 0.03ab	0.08 ± 0.03c	0.33 ± 0.07ab	0.60 ± 0.59a	3.57 ± 1.21ab	2.15 ± 0.65a
黄旦 Hangdan	0.12 ± 0.01b	0.11 ± 0.02c	0.25 ± 0.07ab	0.31 ± 0.28a	1.22 ± 0.33ab	3.18 ± 1.08a
龙井 43 Longjing 43	0.33 ± 0.07a	0.23 ± 0.06bc	0.53 ± 0.11ab	2.03 ± 0.62a	3.47 ± 1.34ab	0.71 ± 0.50a
龙井长叶 Longjingchangye	0.17 ± 0.04ab	0.45 ± 0.09ab	0.11 ± 0.04b	0.06 ± 0.04a	0.39 ± 0.10b	0.98 ± 0.29a
中茶 102 Zhongcha 102	0.18 ± 0.04ab	0.47 ± 0.17a	0.19 ± 0.06ab	0.31 ± 0.30a	3.26 ± 1.46ab	1.31 ± 0.57a
中茶 302 Zhongcha 302	0.31 ± 0.12a	0.21 ± 0.04c	0.32 ± 0.09ab	0.67 ± 0.24a	2.38 ± 1.09ab	1.68 ± 0.98a

* 下同 the same below

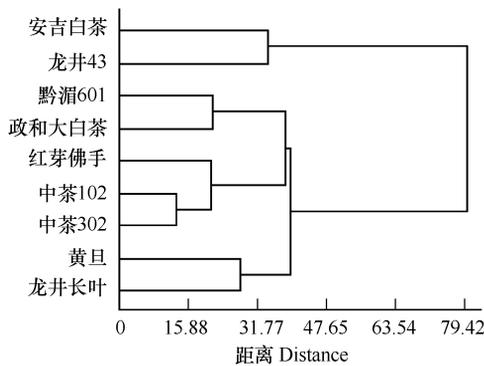


图 3 假眼小绿叶蝉在 9 个品种茶树上取食行为的最长距离法聚类图 (指标 : 平均刺探次数, 各波型平均持续时间)

Fig. 3 Cluster analysis diagram for feeding behavior of tea green leafhoppers on 9 tea cultivars based on longest distance cluster method (indices : average probing number, average duration of various waveforms)

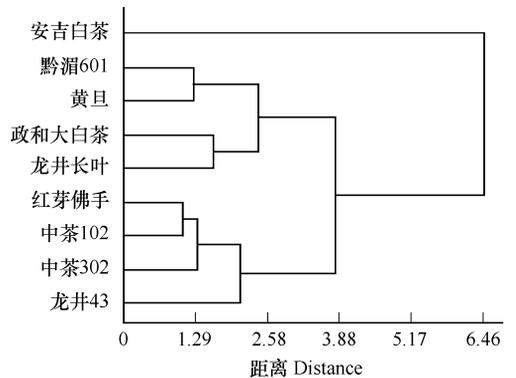


图 4 假眼小绿叶蝉在 9 个品种茶树上取食行为的最长距离法聚类图 (指标 : 含有各取食波的单次刺探平均持续时间)

Fig. 4 Cluster analysis diagram for feeding behavior of tea green leafhoppers on 9 tea cultivars based on longest distance cluster method during 5 h (indices : average duration of every probing including various waveforms)

表 4 以单次刺探中各取食波平均持续时间为指标聚得三大类茶树品种的各取食波的单次刺探平均持续时间 (min)

Table 4 Average durations of every probing of 6 waveforms from 3 types of tea plants based on cluster analysis with average durations of various waveforms as indices in every probing including during 5 h (min)

类 Group	品种数 Number of cultivars	A 波 A wave	S 波 S wave	C 波 C wave	R 波 R wave	E 波 E wave	F 波 F wave
I	1	0.27a	0.20a	0.83a	2.47a	6.32a	1.37a
II	4	0.25 ± 0.04a	0.25 ± 0.08a	0.34 ± 0.07b	0.90 ± 0.38ab	3.17 ± 0.27b	1.46 ± 0.30a
III	4	0.15 ± 0.02a	0.27 ± 0.07a	0.28 ± 0.07b	0.66 ± 0.29b	0.93 ± 0.20c	1.90 ± 0.51a

假眼小绿叶蝉在茶树上刺吸电位研究表明,其在茶树上的取食共产生 7 种主要波型(图 1)根据各波型出现次序及其特定频率,并参照其它叶蝉^[10,17,18]以及蚜虫和粉虱取食行为的研究结果,总结各波形对应的口针刺探行为如下:

NP 波 假眼小绿叶蝉停留在叶片表面,没有进行刺探或取食。

A 波 刺探波,口针开始刺探,持续时间短。

S 波 唾液分泌波,出现在 A 波之后或取食波之间。为口针向韧皮部刺探和进入韧皮部中的分泌唾液波。

C 波 口针到达韧皮部之前的主动取食波。

E 波 韧皮部内的被动取食波,持续时间长。

F 波 是一种在韧皮部取食发生困难时的取食波,不是每一次取食都会出现。

R 波 取食中的一种休息波,此时并未取食,口针也未拔出。

本研究以此作为模式波型,统计各波型在不同品种上出现的频率和持续时间,以判断品种间抗虫能力的强弱,以及可能的抗虫机制。

3.2 9 个茶树品种对叶蝉抗性的评判

害虫在寄主植物上取食时,单位时间内刺探次数多则表明取食时有困难,寄主组织内存在着阻抑取食的因素。同样地,唾液分泌时间长也表明取食受阻。许多室内 EPG 研究结合田间实验表明,昆虫在抗虫性不同的寄主植物上取食时,刺探次数与真正取食时间呈负相关,而平均取食时间和单次刺吸取食时间的长短是寄主植物抗虫性强弱的主要标志。平均取食时间和单次刺吸取食时间越长说明植物的抗虫性越弱,反之则越强^[9]。本实验中唾液分泌波(S 波)、韧皮部取食波(E 波)和表征韧皮部取食时发生困难的波(F 波)持续时间与寄主植物韧皮部的抗虫性有关,E 波的持续时间越长说明寄主的抗虫性越差,S 波和 F 波的持续时间越长说明寄主的抗虫性越强。

韧皮部中的草酸等物质有阻碍取食的作用^[20],韧皮部中缺少必要的营养物质也会增多口针的刺探次数。Auclair 等^[21]研究表明,寄主植物叶肉细胞间和筛管细胞间存在着阻碍取食的因素,韧皮部汁液的 pH 值、粘稠度等信息都会增多二点黑尾叶蝉(*Nephotettix virescens*)的刺探次数和减少取食波的持续时间,抗性寄主对蚜虫取食行为的影响也有类似的报道^[22~24]。本组有关茶蚜在茶梢不同部位上取食行为差异的研究也表明,茶蚜口针在茶梢芽下第 1 叶、芽头、嫩茎和芽下第 4 叶韧皮部中分泌(E1)和吸食(E2)的总历时分别占总试验时间的 30.6%、22.8%、9.6%和 5.4%,差异显著($p < 0.05$)。在第 1 叶上,多数供试茶蚜的口针第 1 次刺探就能够深入韧皮部、分泌消化液而产生 E1 波,第 1 次在韧皮部中的分泌(E1)就能引发从韧皮部的吸食(E2)。但在芽头、嫩茎和第 4 叶上,只有少数供试茶蚜有这样的刺吸活动。证实茶蚜嗜好第 1 叶,该习性与第 1 叶的营养组分和物理特性相关^[11]。因此,叶蝉口针对茶梢理化特性的感知产生了上述 7 种主要刺探波型,不同品种茶树的理化特性造成了各波型历时的不同。

以平均刺探次数和各波型平均持续时间为指标进行聚类分析,明显地将 9 个品种分为了三大类。第 I 大类的平均刺探次数最少,E 波的平均持续时间最长,F 波和 NP 波的平均持续时间最短,表明第 I 大类的抗取食能力最差,第 III 大类的平均刺探次数最多,E 波的平均持续时间最短,F 波和 NP 波的平均持续时间最长,说明第 III 大类的抗取食能力最强。以单次刺探中各波型平均持续时间为指标进行聚类分析,将 9 个品种分为三大类,三类间的 E 波持续时间差异显著,第 I 大类最长,第 III 大类最短,第 II 大类居中,也表明三类抗取食能力由弱至强为:第 I 大类 < 第 II 类 < 第 III 类。

两种聚类分析均将 9 个品种分为相似的三类,在各类间,用 S、E 和 F 波平均持续时间和单次刺探的平均持续时间为指标,对各个品种的抗性排序,则有 9 个品种抗叶蝉取食能力的强弱顺序:龙井长叶、黄旦、政和大白茶、黔湄 601、红芽佛手、中茶 102、中茶 302、龙井 43、安吉白茶。

3.3 EPG 技术可作为研究茶树对叶蝉抗性的有效手段之一

刺探行为是刺吸式昆虫降落在植物表面之后选择寄主的重要活动,EPG 技术可以反映刺吸式昆虫的取

食行为以及对寄主植物的接受程度等习性。几乎所有的研究结果表明,在抗虫品种上的刺探频率和唾液分泌时间分别高于和长于在感虫品种上的,而吸食时间显著缩短。比如,陈巨莲等用刺探波型参数对小麦品种抗蚜性进行聚类,就将5种小麦的抗麦长管蚜能力分为3类:(1)感虫类型(E1波历期短,而E2波历期长);(2)中间类型(NP波历期长,E2波历期缩短或者是c波历期长而E2波历期比率低);(3)抗虫类型(针刺频率最高,E2波历期比例低),分类结果与实际的抗性一致^[25]。

本研究表明假眼小绿叶蝉在茶树上取食时产生了主要波型S、E和F波,分别表示唾液分泌、韧皮部持续取食和韧皮部存在阻碍因子下的韧皮部取食,与茶树抗假眼小绿叶蝉取食密切相关。以它们作为主要指标进行的由强至弱的抗性评判顺序,与田间查得这些茶树品种上叶蝉虫口密度由小到大的顺序基本一致(待发表),说明应用DC-EPG技术能够相对准确和快捷地检测不同茶树品种对假眼小绿叶蝉的抗性水平,为以后研究叶蝉与茶树的互作以及茶树对该叶蝉的抗性机制提供了一种方法。

References :

- [1] Hong B B, Lou Y F, Lü W M, *et al.* Evaluation of pest and disease resistance on tea Germplasm Resources. Tea Science Research Proceedings (1991 ~ 1995). Shanghai : Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1997. 13 - 19.
- [2] Zeng L, Wand P S, Xu M. Studies on the Resistance of tea plant to leafhopper (*Empoasca vitis* Gothe). Journal of Tea Science, 2001, 21 (2) : 90 - 93.
- [3] Hu K M, Zhang Y M, Wang J F, *et al.* Comparison on the population dynamics and leafhopper resistance on different tea cultivars. Journal of Tea Science, 2003, 23 (1) : 57 - 60.
- [4] McLean D L, Kinsey M G. A technique for electronically recording aphid feeding and salivation. Nature, 1964, 202 : 1358 - 1359.
- [5] Yue M, Luo C, Xu H F. Gluing techniques of gold wire electrode to *Bemisia tabaci* in electrical penetration graph. Chinese Bulletin of Entomology, 2005, 42 (3) : 326 - 328.
- [6] Crane P S. The feeding behavior of the blue-green sharpshooter, *Hordnia circellata* (Baker) (Homoptera : Cicadellidae). Ph. D. dissertation, University of California, Davis, 1970.
- [7] Kawabe S, McLean D L, Tatsuki S, *et al.* An improved electronic measurement system for studying ingestion and salivation activities of leafhopper. Annals of the Entomological Society of America, 1981, 74 : 222 - 225.
- [8] Kawabe S, McLean D L. Electronically recorder waveforms associated with ingestion and salivation activities of the aster leafhopper, *Macrostelus fascifrons* Stål (Homoptera : Cicadellidae). Applied Entomology and Zoology, 1978, 13 : 143 - 148.
- [9] Kawabe S, McLean D L. Electronic measurement of probing activities of green leafhopper of rice. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1980, 27 : 77 - 82.
- [10] Lett J M, Granier M, Turpin P, *et al.* Jean-Michel Lett, Martine Granier *et al.* Electrical penetration graphs from *Cicadulina mbila* on maize, the fine structure of its stylet pathways and consequences for virus transmission efficiency. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2001, 101 : 93 - 109.
- [11] Han B Y, Chen Z M. The differences between probing behaviour of tea aphids on different parts of tea tree. Acta Phytopythologica Sinica, 2001, 28 (1) : 7 - 11.
- [12] Han X L, Yan F S. Stylet penetration behaviour of soybean aphid, *Aphis Glycines*, on host and non-host plants. Acta Entomologica Sinica, 1995, 38 (3) : 278 - 284.
- [13] Liu X D, Zhang X Y, Zhai B P. The EPG recording of feeding behavior of *Aphis gossypii* after inter-transforming between cotton and cucurbits. Cotton Science, 2002, 14 (1) : 33 - 35.
- [14] Lei H, Tjallingii W F, van Lenteren J C. Probing and feeding characteristics of the greenhouse whitefly in association with host-plant acceptance and whitefly strains. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1998, 88 : 73 - 80.
- [15] Johnson D D, Walker G P. Intracellular punctures by the adult whitefly *Bemisia argentifolii* on DC and AC electronic feeding monitors. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1999, 92 : 257 - 270.
- [16] Jiang Y X, de Blas C, Barrios L, *et al.* Correlation between whitefly (Homoptera : Aleyrodidae) feeding behaviour and transmission of Tomato yellow leaf curl virus. Entomological Society of America, 2000, 93 : 573 - 579.
- [17] Chang V C. Feeding activities of the sugarcane leafhopper : Identification of electronically recorded waveforms. Entomological Society of America, 1978, 71 : 31 - 36.
- [18] Hunter W B, Backus E A. Mesophyll-feeding by the potato leafhopper, *Empoasca fabae* (Homoptera : Cicadellidae) : Results from electronic

monitoring and thin-layer Chromatography. *Environmental Entomology*, 1989, 18 :465 — 472.

- [19] Sogawa K, Pathak M D. Mechanism of brown planthopper resistance in Mudgo Variety of rice (Hemiptera :Delphacidae). *Applied Entomology and Zoology*, 1970, 5 :145 — 158.
- [20] Sogawa K. The rice brown planthopper :feeding physiology and host plant interaction. *Annual Review of Entomology*, 1982, 27 :49 — 73.
- [21] Auclair J L, Baldos E, Heinrichs E A. Biochemical evidence for the feeding sites of the leafhopper *Nephotettix virescens* within susceptible and resistance plants. *Insect Science and Its Application*, 1982, 27 :77 — 82.
- [22] Nielson M W, Don H. Probing behavior of biotypes of the spotted alfalfa aphid on resistant and susceptible alfalfa clones. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1974, 17 :477 — 487.
- [23] Kennedy G G, Mclean D L, Kinsey M G. Probing behavior of *Aphis gossypi* on resistant and susceptible musk melon. *Journal of Economic Entomology*, 1978, 71 :13 — 16.
- [24] Tjallingii W F. Regulation of phloem sap feeding by aphids. In :Chapman & de Boer G eds. *regulatory mechanism in insect-feeding*. New York : Chapman & Hald Public. Co. ,1997. 191 — 209.
- [25] Chen J L, Sun J R, Ding H J, *et. al.* The resistance patterns and mechanism of biochemical resistance in various wheats cultivars (lines). *Acta Entomologia Sinica*, 1997, 40 (Suppl.) :190 — 195.

参考文献：

- [1] 洪北边,楼云芬,吕文明,等. 茶资源抗病虫鉴定研究. 见:中国农业科学院茶叶研究所编著. *茶叶科学研究论文集 (1991~1995)*. 上海:上海科学技术出版社, 1997. 13~19.
- [2] 曾莉,王平盛,许玫. 茶树对假眼小绿叶蝉的抗性研究. *茶叶科学* 2001 21 (2) 90~93.
- [3] 扈克明,张艳梅,王佳芳,等. 不同茶树品种间小绿叶蝉类群数量动态与抗性比较. *茶叶科学* 2003 23 (1) 57~60.
- [5] 岳梅,罗晨,徐洪富,等. 刺吸电波图实验中金丝与烟粉虱的粘连技术. *昆虫知识*, 2005, 42 (3) :326~328.
- [11] 韩宝瑜,陈宗懋. 茶蚜在茶树不同部位上刺探行为的差异. *植物保护学报*, 2001, 28 (1) :7~11.
- [12] 韩新丽,严福顺. 大豆蚜在寄主与非寄主上的口针刺吸行为. *昆虫学报*, 1995, 38 (3) :278~284.
- [13] 刘向东,张孝羲,翟保平. 棉花和瓜类上棉蚜相互转换后取食行为的 EPG 研究. *棉花学报*, 2002, 14 (1) :33~35.
- [25] 陈巨莲,丁红建,孙京瑞. 主要抗蚜小麦品种(系)的抗性类型及其生化抗性机制. *昆虫学报*, 1997, 40 (增刊) :190~195.

表1 5 h 测试期内假眼小绿叶蝉在 9 个品种茶树上平均刺探次数和各波型平均持续时间 (min)

Table 1 Recorded average probing number and average durations of various waveforms by tea green leafhoppers on 9 tea cultivars during 5 h

品种 Cultivar	刺探次数 (No.) Probing number	A 波 A wave	S 波 S wave	C 波 C wave	R 波 R wave	E 波 E wave	F 波 F wave	NP 波 NP wave
安吉白茶 Anjibaicha	16.78 ± 3.92 b *	4.17 ± 1.03 ab	4.43 ± 1.27b	8.19 ± 2.70 a	28.78 ± 8.81 a	60.29 ± 9.07 a	14.52 ± 2.55 b	179.62 ± 6.42 b
黔湄 601 Qianmei 601	24.50 ± 6.20 ab	2.46 ± 0.59 b	9.09 ± 4.82 ab	7.24 ± 0.84 a	12.94 ± 7.55 ab	18.60 ± 4.14 cd	32.78 ± 8.03 ab	216.89 ± 14.83 ab
政合大白茶 Zhenghedabaicha	33.75 ± 8.46 ab	5.32 ± 0.84 ab	12.23 ± 6.02 ab	7.11 ± 1.26 a	17.37 ± 13.02 ab	25.76 ± 5.81 bcd	16.89 ± 5.89 b	215.32 ± 17.38 ab
红芽佛手 Hongyafoshuo	13.63 ± 2.40 b	2.02 ± 0.36 b	1.43 ± 0.74 b	4.78 ± 1.03 a	2.52 ± 2.33 b	35.72 ± 7.45 bc	21.53 ± 6.11 ab	232.00 ± 9.00 a
黄旦 Hangdan	19.80 ± 4.08 b	2.35 ± 0.50 b	2.09 ± 0.42 b	5.33 ± 1.76 a	2.58 ± 1.93 b	14.82 ± 3.19 cd	42.12 ± 11.50 a	230.70 ± 13.88 a
龙井 43 Longjing 43	17.67 ± 3.07 b	5.16 ± 1.24 ab	4.67 ± 1.49 ab	8.15 ± 1.79 a	25.68 ± 4.33 a	40.54 ± 11.23 a	10.70 ± 8.46 b	205.10 ± 17.10 ab
龙井长叶 Longjingchangye	40.17 ± 10.17 a	7.02 ± 2.63 a	14.56 ± 1.68 a	4.58 ± 1.24 a	1.84 ± 0.98 b	13.01 ± 2.54 d	30.00 ± 5.76 ab	228.98 ± 9.20 a
中茶 102 Zhongcha 102	20.00 ± 7.07 b	2.32 ± 0.31 b	8.15 ± 3.10 ab	2.93 ± 1.01 a	1.64 ± 1.19 b	27.58 ± 6.61 bcd	12.03 ± 1.98 b	245.34 ± 5.89 a
中茶 302 Zhongcha 302	22.67 ± 5.94 ab	5.46 ± 1.93 ab	5.32 ± 1.75 ab	5.29 ± 0.82 a	8.61 ± 1.94 ab	24.94 ± 2.97 bcd	13.63 ± 3.10 b	236.75 ± 5.24 a

* 同一列数据 (平均数 ± 标准误) 后字母相同代表品种间差异没有达到显著水平 ($p=0.05$) ;采用了 Duncan 's 多重比较 ; * The same letters in the same row stand for the level of $p > 0.05$;Duncan 's multiple range test is used ;下同 the same below

表2 以平均刺探次数和各波型平均持续时间为指标聚得三类茶树品种的平均刺探次数和各波型平均持续时间 (min)

Table 2 Average probing number and average durations of 7 waveforms from 3 types of tea plants based on cluster analysis with average probing number and average durations of various waveforms as indices during 5 h (min)

类 Group	品种数 Number of cultivars	刺探次数 (No.) Probing number	A 波 A wave	S 波 S wave	C 波 C wave	R 波 R wave	E 波 E wave	F 波 F wave	NP 波 NP wave
I	2	17.225 ± 0.45a	4.67 ± 0.50a	4.55 ± 0.12a	8.17 ± 0.02a	27.23 ± 1.55a	50.42 ± 9.88a	12.61 ± 1.91b	193.03 ± 13.41b
II	5	22.910 ± 3.27a	3.52 ± 0.77a	7.24 ± 1.82a	5.47 ± 0.80a	8.62 ± 3.00b	26.52 ± 2.75b	19.37 ± 3.72ab	229.52 ± 5.64a
III	2	29.990 ± 10.19a	4.69 ± 2.34a	8.33 ± 6.24a	4.96 ± 0.38a	2.21 ± 0.37b	13.92 ± 0.91b	36.06 ± 6.06a	229.84 ± 0.86a