

EPG 技术分析不同品种茶树抗假眼小绿叶蝉取食行为的差异

刘丽芳^{1,2}, 徐德良³, 穆丹^{1,2}, 韩宝瑜^{2*}

(1. 中国农业科学院茶叶研究所, 杭州 310008; 2. 中国计量学院浙江省生物计量及检验检疫技术重点实验室, 杭州 310018;
3. 无锡市茶叶品种研究所, 无锡 214063)

摘要: 假眼小绿叶蝉是我国最严重的茶树害虫, 不同品种对其表现出抗性或感性, EPG 是近年用于快速检测作物抗刺吸式害虫的新技术。以浙江、江苏主推的 6 个茶树良种为供试材料, 用可视的 DC-EPG 技术记录了该叶蝉的刺探取食行为。结果表明: (1) 叶蝉在 6 个品种茶树上的 7 种基本刺吸波形是相同的。(2) 在锡茶 5 号、苏茶 1 号上的刺探次数多, 在韧皮部内的被动取食波-E 波的持续时间长; 在龙井 43 上刺探次数少, 在韧皮部内的被动取食波 E 波持续时间短; 苏茶 120、中茶 108 和安吉白茶则居中。(3) 使用聚类分析、多重比较分析, 评判 6 个品种茶树抗叶蝉取食能力由强至弱的顺序为龙井 43>苏茶 120>中茶 108>安吉白茶>苏茶 1 号>锡茶 5 号, 该顺序与田间观察的 6 个品种茶树上叶蝉虫口密度由小到大的顺序基本一致。认为 EPG 技术可用于评判不同品种茶树对叶蝉抗性的强弱。

关键词: 假眼小绿叶蝉; 茶树品种; 刺吸行为; 可视 DC-EPG; 聚类分析; 抗性

中图分类号: S435.711

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2011)02-0281-06

Analysis of the feeding behaviours of tea green leafhoppers on resistant to sensible cultivars of tea plants by electrical penetration graphy techniques

LIU Li-fang^{1,2}, XU De-liang³, MU Dan^{1,2}, HAN Bao-yu²

(1. Tea Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310008;
2. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Biometrology and Inspection & Quarantine, China Jiliang University, Hangzhou 310018;
3. Tea Plant Cultivar Institute of Wuxi City, Wuxi 214063)

Abstract: Tea green leafhopper, *Empoasca vitis* Göthe, is the most important pest in tea plantation communities in China, and various tea cultivars exhibit resistance or sensibility for the pest. Electrical penetration graphy (EPG) is a new technique that is used to detect the resistance of crops against leafhopper and other piercing-sucking pests. During the present work, the 6 elite cultivars, being extended in Zhejiang and Jiangsu Province, were acted as the examining material, and the feeding behaviours of the leafhopper were recorded by the video DC-EPG technique. The results showed as follows: (1) Seven types of primary EPG waveforms emerged on each tested cultivar. (2) There were more probing number and long-drawn E waveform when the stylets passively sucked in phloem on Xicha 5 and Sucha 1 cultivar; on the contrary, there were less probing number and short E waveform on Longjing 43 cultivar. Moreover, Sucha 120, Zhongcha 108 and Anjibaicha were placed in the middle. (3) Recurring to cluster analysis and multiple range analysis, the resistance of 6 cultivars of tea plants against the leafhopper were judged, and the ranking order from strong to weak were: Longjing 43>Sucha 120> Zhongcha 108>Anjibaicha>Sucha 1>Xicha 5, which was in correspondence with the sequence, from little to big, of the population density of the leafhopper on the six tea cultivars in the tea fields. It is considered that EPG technique can be used to judge the degree of the resistance or the sensibility of tea cultivars against the leafhopper.

Key words: tea green leafhopper; tea plant cultivar; piercing and sucking behaviour; video DC-EPG; cluster analysis; resistance

收稿日期: 2011-01-04

基金项目: 国家自然科学基金 (31071744), 浙江省重大科技专项 (2008C12070) 和浙江省自然科学基金 (Y3100375) 共同资助。

作者简介: 刘丽芳, 女, 硕士研究生。E-mail: sdaullf@126.com

* 通讯作者: 韩宝瑜, 男, 博士, 教授。E-mail: han-insect@263.net

假眼小绿叶蝉 *Empoasca vitis* Göthe 是我国茶区最严重的害虫,几十年来主要依靠化学防治,已对吡虫啉达中抗、对联苯菊酯和啶虫脒达高抗水平^[1],必须考虑替代性防治措施。我国茶树种质资源丰富,有些具有抗虫性,比如,剪取茶园不同品种茶梢于室内水培,接种假眼小绿叶蝉成虫之后调查下代虫口密度^[2]、长时期于茶园中调查不同品种茶梢上叶蝉虫口密度^[3-4],皆表明品种之间叶蝉虫口密度的差异明显甚至达到显著水平。有研究也揭示了茶叶下表面角质层厚度、茶叶咖啡碱等生化成分的含量与茶树品种的抗虫性相关^[5-6]。长期的田间调查费时,不能深入探讨茶树抗叶蝉的机制。作物抗虫的机制复杂,近一二十年来国际上使用刺探电位技术 (electrical penetration graphy, EPG) 作为抗虫性研究的辅助手段,快速简捷,具有很好的参考价值,已用于研究叶蝉类、蚜虫类、粉虱类的抗虫机制,但还鲜见 EPG 用于探究茶树对于叶蝉的抗性。为深化 EPG 技术在茶树抗虫性领域的研究及其应用,本文选择浙江和江苏茶区推广的 6 个良种,用 EPG 检测假眼小绿叶蝉在这几个品种上取食行为的差异。

1 材料与方 法

1.1 供试茶树品种

在江苏茶区广泛种植的锡茶 5 号、苏茶 1 号、苏茶 120,在浙江茶区大面积推广的中茶 108、安吉白茶、龙井 43。种植于营养钵中,苗高 20 cm 左右,长势好。

1.2 方 法

假眼小绿叶蝉取自中国计量学院实验茶园,选发育进度一致的 3 龄若虫于养虫笼中的小茶苗上饲养半日,实验前放入试管中饥饿 1 h。

1.3 EPG 实验程序

刺探电位器型号是 DC-EPG Giga-4,购自荷兰瓦赫宁根大学昆虫系。将 3 龄叶蝉若虫、茶苗分别接入生物电流放大器的昆虫电极和植物电极。昆虫电极是一段长 5 cm,直径 10 μm 的金丝。连接时,先将若虫轻轻移入皿中,培养皿置于冰上,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上。粘好后,小心地把联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、左右调节)把输入探头升起,使叶蝉若虫能够接触茶苗芽下第 2 叶的叶背。金丝细软,叶蝉可在一定范围内自由活动。

放大器的植物电极是直径约 2 mm,长约 10 cm

的铜棒,插在茶苗的盆栽土壤里。当昆虫口针刺入植物组织时,回路接通,回路电流经 AD 转换器放大转换为数字信号保存于电脑上,经 Probe2.0 软件转化成波形图谱输出,显示在电脑屏幕上,再判读并转换为可供统计的数字文件。叶蝉在每个品种上连续记录 5 h,每次同时测试 4 头,试验均在室温 $25^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 下进行。最后选取每个茶树品种上成功测试的 10 头叶蝉的 EPG 刺探行为作统计分析^[7-10]。

1.4 各波形的判定及其生物学意义

关于叶蝉 EPG 的研究文献较少,Crane^[11] 开始应用 AC-EPG 研究了叶蝉 *Hordnia circlata* Baker 在人工饲料上的取食行为,之后 AC-EPG 技术广泛应用于叶蝉科 (Cicadellidea) 昆虫取食行为的研究^[12-14]。主要研究有:表征水稻品种对二点黑尾叶蝉的抗性^[15];进一步证明了马铃薯上叶蝉并不是严格的韧皮部吸食者^[16];明确了水稻矮化病毒转主到玉米上的原因^[17];比较了叶蝉在玉米等几种寄主植物上的取食行为的差异^[18]。本课题组苗进等首次利用 DC-EPG 技术探讨了假眼小绿叶蝉 3 龄若虫在 9 个茶树品种上的刺探取食行为,综合前人关于叶蝉 EPG 研究结果,确定其取食波为 A、S、C、E、F、R 和 NP 等 7 种波形,并指出唾液分泌波(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)的持续时间与寄主植物韧皮部的抗虫性密切相关^[19]。作者基于苗进的研究,将叶蝉 EPG 波形分为 7 种:

NP 波—假眼小绿叶蝉停留在叶表面,没有刺探或取食。

A 波—刺探波,此时口针开始刺探,但一般持续时间比较短。

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的波形,该波形与植物的抗虫性密切相关。

C 波—口针到达韧皮部之前的主动取食波,从吸食的主动性来看,与蚜虫类在寄主植物上取食时的 G 波相似^[19]。

E 波—韧皮部内的被动取食波,持续时间长。

F 波—口针在细胞膜外胞间或细胞壁内的机械穿刺受阻的波形,与抗性关系密切^[7-10],不是每次取食都会出现。

R 波是取食中的一种休息波,此时并未取食,口针也未拔出。

1.5 参数选择及数据分析

将连续记录的 EPG 按不同的波形分别统计历期,包括非刺探的 NP 波,到达韧皮部之前的 A 波、

S 波和 C 波, 韧皮部吸食的 E 波, 口针遇到阻碍的 F 波, 吸食时中间的休息波 R 波。

计算 7 种取食波的平均持续时间及其所占百分率, 用 Excel 表中 AVERAGE 函数求平均数。STDEVP 函数求标准方差, 用工具栏数据分析中的分析工具进行单因素方差分析。用 LDS 法进行品种间抗性差异的多重比较。再选择与抗性相关的 S、E、F 波作为参数, 对 6 个品种进行抗性强弱的聚类分析。

2 结果与分析

2.1 6 个品种茶树上叶蝉刺探次数及各种波持续时间的差异显著

一般认为: (1) 刺探次数越多, 路径波(A+S+C)的平均持续时间越长, F 波的平均持续时间越长, E 波的平均持续时间越短, 则说明该品种茶树存在较多的抗性因子, 此类品种的茶树对叶蝉的抗性就越强; (2) 反之, 刺探次数越少, 路径波(A+S+C)的平均持续时间越短, F 波的平均持续时间越短, E 波的平均持续时间越长, 则此类品种的茶树对叶蝉的抗性就越弱; (3) S 波(唾液分泌)、E 波(韧皮部持续取食)、F 波(韧皮部取食存在阻碍因子) 历时较长, 是主要波形, 可能与茶树抗叶蝉取食的特性相关。

在 5 h 的测试时间内, 供试叶蝉在 6 个不同品种茶树上平均刺探次数、以及各种取食波的平均持续时间的差异大。方差分析结果表明: (1) 叶蝉在

锡茶 5 号上的刺探次数最少, 在龙井 43 上的刺探次数最多, 两者之间差异达到显著水平, 其他 4 个品种上的刺探次数居中。(2) E 波的平均持续时间在锡茶 5 号上最长, 在龙井 43 上最短, 在苏茶 120 上的持续时间也较短, 锡茶 5 号与这两者之间差异达到显著水平, 其它波上的持续时间居中。(3) 路径波(A+S+C)的平均持续时间之间有差异, F 波、或者 R 波平均持续时间之间也有差异, 但不显著(表 1)。

2.2 6 个品种茶树上叶蝉的各种取食波占总历期百分率的差异显著

比较叶蝉在 6 个品种茶树上刺吸时各波型占总测试时间的百分率(表 2), 可见品种之间的 E 波百分率、F 波百分率、或者 S 波百分率存在显著差异, 即不同品种抗叶蝉性有差别。比如, 叶蝉在锡茶 5 号上取食时, E 波百分率显著高于在龙井 43 上的, 分别为 29.2% 和 16.7%, 差异显著。锡茶 5 号上路径波 A 波百分率、S 波百分率、或者 C 波百分率明显大于龙井 43 上的。锡茶 5 号上非刺探历期 NP 波百分率、或者阻抑取食的 F 波百分率最低, 龙井 43 上的最高, 差异未达显著水平。

2.3 6 个品种茶树抗叶蝉性强弱的聚类分析

苗进等认为, 叶蝉在茶树上取食时产生 7 种波形^[19]。本试验以 6 个品种为实体, 每个品种的 7 种波形为属性(表 3), 先进行标准化转换, 消除量纲, 再使用离差平方和法进行系统聚类, 将 6 个品种归纳为 3 大类型(图 2)。

表 1 5 h 测试期间假眼小绿叶蝉在 6 个品种茶树上平均刺探次数和各波形平均历期

Table 1 Average probing number and average durations (min) of various waveforms recorded by tea leafhoppers on 6 tea cultivars during 5 h test stage

品种 Cultivar	刺探次数 Probing number	A 波 Wave A	S 波 Wave S	C 波 Wave C	E 波 Wave E	F 波 Wave F	R 波 Wave R	NP 波 Wave NP
锡茶 5 号 Xicha 5	22.75±0.90 ^b	5.99±1.18 ^a	7.27±1.74 ^a	1.66±0.59 ^a	87.65±9.19 ^a	4.84±1.81 ^a	7.37±3.00 ^a	185.73±12.57 ^a
苏茶 1 号 Sucha 1	37.2±6.64 ^{ab}	9.16±1.56 ^a	13.48±2.24 ^a	1.23±0.62 ^a	75.85±5.89 ^{ab}	6.81±3.31 ^a	6.24±2.45 ^a	187.21±3.58 ^a
苏茶 120 Sucha 120	28.3±7.76 ^{ab}	6.53±1.63 ^a	14.36±2.09 ^a	0.15±0.12 ^a	57.72±10.00 ^b	6.2±2.08 ^a	4.77±3.71 ^a	210.26±13.69 ^a
中茶 108 Zhongcha 108	35.10±7.57 ^{ab}	9.14±1.97 ^a	10.98±1.71 ^a	0.91±0.82 ^a	66.67±9.55 ^{ab}	7.20±1.90 ^a	2.40±1.29 ^a	202.68±11.95 ^a
安吉白茶 Anjibaicha	25.80±4.85 ^{ab}	7.63±2.11 ^a	10.54±2.52 ^a	1.21±0.77 ^a	66.47±9.89 ^{ab}	6.60±3.17 ^a	6.31±4.22 ^a	200.60±15.75 ^a
龙井 43 Long 43	44.00±5.35 ^a	6.79±2.45 ^a	11.97±3.18 ^a	0.46±0.24 ^a	50.25±9.04 ^b	6.39±4.30 ^a	3.90±1.89 ^a	220.24±14.07 ^a

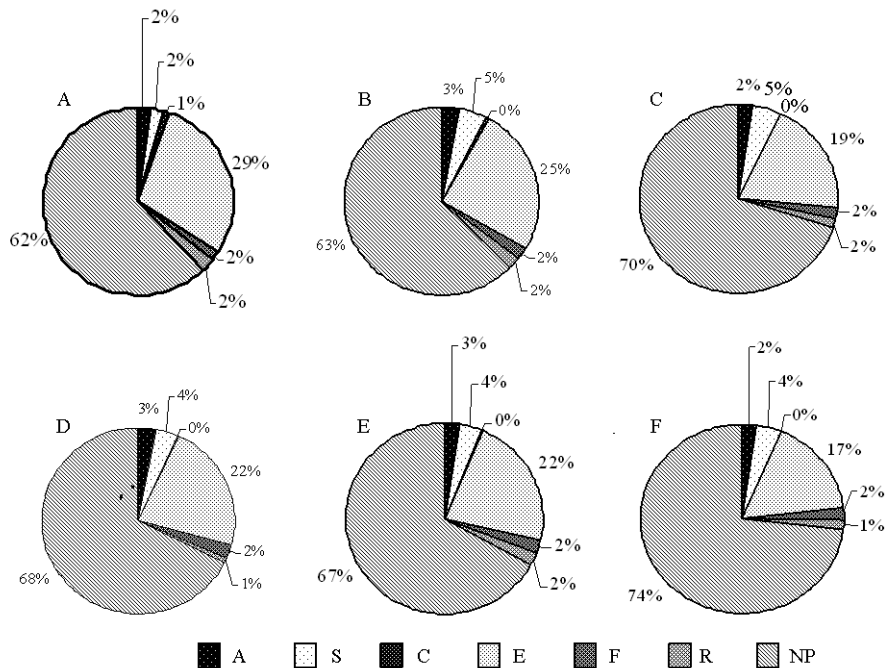
注: 标有不同字母的同一列数据之间的差异达显著水平($P < 0.05$); 采用了 Duncan's 多重比较。下同。

Notes: The difference in data in the same column with different letters reaches the level of $P < 0.05$. Duncan's multiple range tests are used. The same below.

表 2 5 h 测试期间假眼小绿叶蝉在 6 个品种茶树上各种取食波历期的百分率

Table 2 Percentage of durations (min) of various waveforms of tea leafhoppers feeding on 6 tea cultivars during 5 h test stage

品种 Cultivar	A%±SE	S%±SE	C%±SE	E%±SE	F%±SE	R%±SE	NP%±SE
锡茶 5 号 Xicha 5	2.00±0.40 ^a	2.42±0.58 ^a	0.55±0.20 ^a	29.21±3.06 ^a	1.61±0.61 ^a	2.46±1.00 ^a	61.91±4.19 ^a
苏茶 1 号 Sucha 1	3.06±0.52 ^a	4.50±0.75 ^a	0.41±0.21 ^a	25.28±1.96 ^{ab}	2.27±1.10 ^a	2.08±0.82 ^a	62.40±1.19 ^a
苏茶 120 Sucha 120	2.18±0.54 ^a	4.79±0.70 ^a	0.05±0.04 ^a	19.24±3.33 ^b	2.07±0.69 ^a	1.59±1.24 ^a	70.09±4.57 ^a
中茶 108 Zhongcha 108	3.05±0.66 ^a	3.66±0.57 ^a	0.3±0.27 ^a	22.22±3.18 ^{ab}	2.40±0.64 ^a	0.80±0.43 ^a	67.56±3.99 ^a
安吉白茶 Anjibaicha	2.55±0.70 ^a	3.51±0.84 ^a	0.4±0.26 ^a	22.16±3.30 ^{ab}	2.20±1.06 ^a	2.11±1.41 ^a	66.87±5.25 ^a
龙井 43 Long 43	2.26±0.82 ^a	3.99±1.06 ^a	0.15±0.08 ^a	16.75±3.01 ^b	2.13±1.44 ^a	1.30±0.63 ^a	73.41±4.69 ^a



品种 A: 锡茶 5 号; 品种 B: 苏茶 1 号; 品种 C: 苏茶 120; 品种 D: 中茶 108; 品种 E: 安吉白茶; 品种 F: 龙井 43
 Cultivar A: Xicha 5; Cultivar B: Sucha 1; Cultivar C: Sucha 120; Cultivar D: Zhongcha 108; Cultivar E: Anjibaicha;
 Cultivar F: Longjing 43

图 1 5 h 测试期间假眼小绿叶蝉在 6 个品种茶树上 7 种取食波平均历期的百分率

Figure 1 Average durations of 7 types of waveforms and their percentages occupied total tested time for 5 h recorded by tea green leafhoppers on 6 tea cultivars

表 3 聚类分析指标

Table 3 The indices for culster analysis

品种 Cultivar	刺探次数 Probing number	历期/min Duration				出现第 1 个 E 波时间 Beginning time of the 1st wave E	第 1 个 E 波历时 Duration of the 1st wave E
		E 波 Wave E	F 波 Wave F	S 波 Wave S	NP 波 Wave NP		
锡茶 5 号 Xicha 5	22.75	87.65	4.84	7.27	185.73	5.97	10.91
苏茶 1 号 Sucha 1	37.20	75.85	6.81	13.48	187.21	8.58	6.16
苏茶 120 Sucha 120	28.30	57.72	6.20	14.36	210.26	17.70	6.82
中茶 108 Zhongcha 108	35.10	66.67	7.20	10.98	202.68	26.33	5.49
安吉白茶 Anjibaicha	25.80	66.47	6.60	10.54	200.60	16.73	6.17
龙井 43 Longjing 43	44.00	50.25	6.39	11.97	220.24	6.12	8.75

表 4 5 h 测试期间假眼小绿叶蝉在每类型茶树上的平均刺探次数和波形的持续时间

Table 4 Average probing number and average durations (min) of various waveforms recorded by tea leafhoppers on 3 types of tea cultivars during 5 h test stage

类型 Type	品种 数 n	刺探次数 Probing number	历期/min Duration				出现第 1 个 E 波时间 Beginning time of the 1 st wave E	第 1 个 E 波历时 Duration of the 1st wave E
			E 波 Wave E	F 波 Wave F	S 波 Wave S	NP 波 Wave NP		
I	2	29.15±3.83 ^b	10.37±1.76 ^a	81.75±5.59 ^a	5.82±2.41 ^a	186.47±7.20 ^b	6.12±2.45 ^b	8.54±2.37 ^a
II	3	29.73±4.77 ^b	11.96±1.51 ^a	63.62±6.74 ^{ab}	6.60±1.57 ^a	204.51±10.44 ^{ab}	7.27±1.75 ^b	6.16±1.62 ^a
III	1	44.00±5.35 ^a	11.97±3.19 ^a	50.25±9.04 ^b	6.39±4.31 ^a	220.23±14.07 ^a	20.26±5.33 ^a	8.75±2.59 ^a

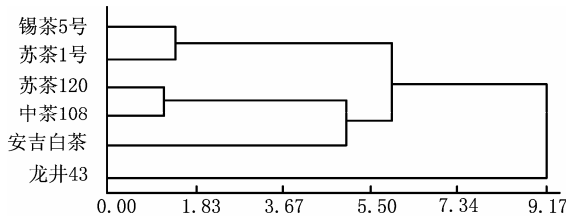


图 2 假眼小绿叶蝉在 6 个品种茶树上取食行为的离差平方和法聚类树状图

Figure 2 Cluster analysis diagram for feeding behavior of tea green leafhopper on 6 tea cultivars based on the Ward's method

第 I 类: 2 个品种, 即锡茶 5 号、苏茶 1 号。

第 II 类: 3 个品种, 即苏茶 120、中茶 108、安吉白茶。

第 III 类: 1 个品种, 即龙井 43。

再计算出每个类型含有的品种在试验期间: 刺探次数、以及 S 波、E 波、F 波、NP 波历期, 出现第 1 个 E 波的时间、第 1 个 E 波的历期(表 4), 进行方差分析。E 波的平均持续时间在第 I 大类中最长, 在第 III 类中最短, 两者之间差异达到显著水平 ($P<0.05$), 第 II 大类居中。NP 波的平均持续时间在第 I 大类中最短, 在第 III 类中最长, 两者之间差异达到显著水平 ($P<0.05$), 第 II 大类居中。由分析可以看出, 叶蝉在 3 大类型品种茶树上取食行为有显著差异; 锡茶 5 号、苏茶 1 号的抗性相对较弱。

3 小结与讨论

昆虫在寄主植物上刺吸时, 单位时间内的刺探次数与真正取食时间呈负相关, 刺探次数越多, 则取食时间越短, 寄主植物的抗性越强; 刺探次数越少, 则取食时间越长, 寄主植物的抗性越弱。唾液分泌波历时长, 也表明寄主组织内阻抑因子的作用强, 抗性就强。Marchetti 等以易感的苹果树品种 *Smoothe* 作为对照, 记录了苹果蚜在抗性品种 *Florina* 上的刺探取食行为, 发现在 *Florina* 第 1 次刺

探之前的时间明显长于易感品种 *Smoothe*; 另外, 韧皮部的不取食行为也表明, 抗性品种的韧皮部筛管中存在重要抗性因子, 据此认为受苹果蚜危害的抗性品种中, 能诱导产生较强的诱导抗性^[20]。本研究中, 叶蝉口针在锡茶 5 号、苏茶 1 号韧皮部中历期较长。

叶蝉在茶树上取食时产生的唾液分泌波 (S 波)、韧皮部取食波 (E 波)、表征韧皮部取食时发生困难的波 (F 波) 与抗性关系密切, 所以本试验中以与这 3 类波相关的 7 类指标进行聚类分析, 将 6 个品种分为了 3 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, S 波、F 波和 NP 波的平均持续时间最短, 表明该类茶树的抗性能力最差, 多年的田间调查表明, 锡茶 5 号和苏茶 1 号受叶蝉的为害重于其它品种。第 III 大类的平均刺探次数最多, E 波的平均持续时间最短, S 波、F 波和 NP 波的平均持续时间最短, 表明该类茶树的抗性能力最强, 第 II 类居中, 说明 3 大类的抗性能力: 第 III 类>第 II 类>第 I 类。在各类间, 根据 S、E、F 波平均持续时间和平均刺探次数对各个品种的抗性排序, 则有 6 个品种对叶蝉的抗性强弱为: 龙井 43>苏茶 120>中茶 108>安吉白茶>苏茶 1 号>锡茶 5 号。

茶叶韧皮部中的化合物是茶树抗虫性的物质基础, 而不同品种茶树的韧皮部中化合物的质和量存在着差异, 决定着品种的抗性水平。据张贻礼等^[6]报道, 假眼小绿叶蝉的虫口密度与咖啡碱的含量呈显著负相关 ($r = -0.9131$)、与可溶性蛋白质含量呈负相关 ($r = -0.8912$), 接近显著水平, 认为咖啡碱和可溶性蛋白质是茶树抗假眼小绿叶蝉的成分, 而与茶多酚、可溶性糖、氨基酸的含量关系不大。曾莉等^[5]对云南的 8 份抗性品种的生化成分进行了分析, 也发现品种的抗性跟咖啡碱的含量负相关, 但未达显著水平; 而与茶多酚、氨基酸含量的关系不明确。毛迎新等在此基础上对儿茶素类与茶树抗假眼小绿叶蝉关系作了进一步分析, 发现叶蝉

的种群数量与各品种茶梢中的没食子儿茶精 (gallo catechin, GC) 含量呈显著负相关, 认为茶树新梢内 GC 含量与抗假眼小绿叶蝉特性密切相关^[21]。

锡茶 5 号几种化学成份含量^[22]: 茶多酚 29.05%、儿茶素 194.25 mg·g⁻¹、氨基酸 3.16%、咖啡碱 3.45%; 龙井 43 的含量^[24]: 茶多酚 18.5%、儿茶素 120.84 mg·g⁻¹、氨基酸 3.7%、咖啡碱 4.0%。锡茶 5 号的茶多酚和儿茶素含量均高于龙井 43; 氨基酸与龙井 43 相近, 略低于龙井 43; 咖啡碱略低于龙井 43。结合 EPG 试验结果, 认为锡茶 5 号比龙井 43 感叶蝉的原因, 可能因其咖啡碱含量偏低, 但是咖啡碱并不能包括茶树韧皮部中的全部抗性因子, 还有其他抗性因子的存在, 尚需进一步的研究。

参考文献:

- [1] 庄家祥, 傅建炜, 苏庆泉, 等. 福建省茶小绿叶蝉抗药性的地区差异[J]. 茶叶科学, 2009, 29 (2): 154-158.
- [2] 洪北边, 楼云芬, 吕文明, 等. 茶资源抗病虫害鉴定研究[M]//中国农业科学院茶叶研究所. 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.
- [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虫性比较[J]. 茶叶科学, 2003, 23 (1): 57-60.
- [4] 毛迎新, 邹武, 马新华, 等. 福建主要茶树品种间假眼小绿叶蝉种群动态及其抗虫性比较[J]. 华中农业大学学报, 2009, 28 (1): 16-19.
- [5] 曾莉, 王平盛, 许玫. 茶树对假眼小绿叶蝉的抗性研究[J]. 茶叶科学, 2001, 21(2): 90-93.
- [6] 张贻礼, 张觉晚, 杨阳, 等. 茶树抗虫品种资源调查及抗性机制研究 II. 不同品种茶树特征特性对假眼小绿叶蝉抗性的相关分析[J]. 茶叶通讯, 1994(2): 4-6.
- [7] Tjallingii W F. Electronic recording of penetration behavior by aphids [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1978, 24: 721-730.
- [8] Tjallingii W F. Electrical nature of record signals during styled penetration by aphids[J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1985, 38: 177-186.
- [9] Tjallingii W F. Electrical recording of stylet penetration activities[M]//Minks A K, Harrewijn P. Aphids, Their Biology, Natural Enemies and Control. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B V Amsterdam, 1988: 95-108.
- [10] Tjallingii W F. Salivary secretions by aphids interacting with proteins of phloem wound responses[J]. Journal of Experimental Botany, 2006, 57: 739-745.
- [11] Crane P S. The feeding behavior of the blue green shooter, *Hordnia circellata* (Baker) (Homoptera: Cicadellidae)[D]. University of California, Davis, 1970.
- [12] Kawabe S, McLean D L, Tatsuki S, et al. An improved electronic measurement system for studying ingestion and salivation activities of leafhopper[J]. Annals of the Entomological Society of America, 1981, 74: 222-225.
- [13] Kawabe S, McLean D L. Electronically recorder waveforms associated with ingestion and salivation activities of the aster leafhopper, *Macrostelus fascifrons* Stal (Homoptera: Cicadellidae)[J]. Applied Entomology and Zoology, 1978, 13: 143-148.
- [14] Kawabe S, McLean D L. Electronic measurement of probing activities of green leafhopper of rice[J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1980, 27: 77-82.
- [15] Rapusas H R, Heinrichs E A. Feeding behaviour of *Nephotettix virescens* (Homoptera: Cicadellidae) on rice varieties with different levels of resistance[J]. Environmental Entomology. 1990, 19: 594-602.
- [16] Hunter W B, Backus E A. Mesophyll feeding by the potato leafhopper, *Empoasca fabae* (Homoptera: Cicadellidae): Results from electronic monitoring and thin-layer chromatography[J]. Environmental Entomology, 1989, 18: 465-472.
- [17] Wayadande A C, Nault L R. Leafhopper probing behaviour associated with maize chlorotic dwarf virus transmission to maize [J]. Phytopathology, 1993, 83: 522-526.
- [18] Mesfin T, Hollander J D, Markham P G. Feeding activities of *Cicadulina mbila* (Hemiptera:Cicadellidae) on host-plants [J]. Bulletin of Entomological Research, 1995, 85: 387-396.
- [19] 苗进, 韩宝瑜. 假眼小绿叶蝉在不同茶树品种上的取食行为[J]. 生态学报, 2007, 27(10): 3973-3982.
- [20] Marchetti E, Civolani S, Leis M, et al. Tissue location of resistance in apple to the rosy apple aphid established by electrical penetration graphs[J]. Bulletin of Insectology, 2009, 62: 203-208.
- [21] 沈丰年, 李明玉. 高产茶树新品种“锡茶 5 号”选育研究报告[J]. 福建茶叶, 1987(4): 18-21.
- [22] 中国茶树品种志编写委员会. 中国茶树品种志[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2001.