

李金玉, 王庆森, 李良德, 等. 茶小绿叶蝉种名变更及其种群发生与生物生态环境关系的研究进展 [J]. 福建农业学报, 2022, 37 (1): 123–130.  
LI J Y, WANG Q S, LI L D, et al. Research Progress on the Dominant Species Identification of Tea Green Leafhopper and the Relationship Between Its Population and the Biological and Ecological Environment [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 37 (1): 123–130.

## 茶小绿叶蝉种名变更及其种群发生与生物生态环境关系的研究进展

李金玉, 王庆森, 李良德, 王定锋, 曾明森, 吴光远\*

(福建省农业科学院茶叶研究所, 福建 福州 350013)

**摘要:**茶小绿叶蝉是茶园中分布最广、发生最普遍、为害最严重的害虫之一。本文对近十年(2011–2021)我国茶小绿叶蝉在种名变更与种群生物学特性方面的研究进展进行综述,包括茶小绿叶蝉的分类归属、种名变更、种群遗传关系、发生为害特点、生物学特性以及种群发生与茶树品种、气候、生境、抗药性的关系,并结合绿色发展新理念 and 《农作物病虫害防治条例》对推进绿色防控提出的更高要求,对今后的研究方向和工作重点进行了展望。

**关键词:**茶树;茶小绿叶蝉;害虫综合防控;种群发生特点

中图分类号: S 435

文献标志码: A

文章编号: 1008-0384 (2022) 01-0123-08

### Research Progress on the Dominant Species Identification of Tea Green Leafhopper and the Relationship Between Its Population and the Biological and Ecological Environment

LI Jinyu, WANG Qingsen, LI Liangde, WANG Dingfeng, ZENG Mingsen, WU Guangyuan\*

(Tea Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350013, China)

**Abstract:** Tea green leafhopper, *Empoasca onukii* Matsuda, is one of the most widely distributed, ubiquitous, and destructive insect pests at tea plantations. This article reviews the research progress on the pest over the past decade in China. It encompasses the publications involving the dominant species identification, genetic relationships among populations, as well as the taxonomy, biological characteristics, and correlations with tea cultivars, climatic conditions, habitat management, and insecticide application of the insect. The remaining information gap and tasks on the studies of the pest and control are discussed with respect to the green development and the implementation of the policy on the “Regulations on the Control of Crop Pathogens and Pests.”

**Key words:** Tea plants; tea green leafhopper; integrated pest management; population dynamics

## 0 引言

害虫为害给茶产业发展造成较大的损失。据报道,茶园中害虫种类 1031 种,若不加以治理,每年可造成 11%~55% 的损失<sup>[1]</sup>。茶小绿叶蝉 (*Empoasca onukii* Matsuda) 是茶园中分布最广、为害持续时间最长、造成损失也最大的害虫。关于该虫的研究,已有大量的文献报道。本文对近 10 年 (2011–2021)

茶小绿叶蝉的分类归属、发生为害特点,以及生物生态学特性方面的研究进展作综述,旨在为进一步开展对该虫的科学研究和治理方案的制定提供参考。

## 1 茶小绿叶蝉的分类归属、种名变更和种群遗传关系

### 1.1 茶小绿叶蝉的分类归属和种名变更

茶小绿叶蝉在系统分类上隶属于半翅目

收稿日期: 2021-10-11 初稿; 2021-12-11 修改稿

作者简介: 李金玉 (1985–), 女, 博士, 助理研究员, 研究方向: 昆虫生态与茶树害虫综合治理 (E-mail: babyfish1985@163.com)

\* 通信作者: 吴光远 (1962–), 男, 研究员, 研究方向: 茶树病虫害绿色防控 (E-mail: gywupt@163.com)

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFD0200900); 国家茶叶产业体系建设专项 (CARS-19); 福建省科技计划公益类专项 (2019R1029-4); 福建省农业科学院科技创新团队建设项目 (CXTD0090); 福建省现代农业 (茶叶) 产业技术体系专项 (闽财指 [2020]786 号)

(Hemiptera) 叶蝉科 (Cicadellidae), 广泛分布于我国所有茶区, 同时在印度、日本、越南、斯里兰卡、阿根廷、美国夏威夷以及非洲的一些其他产茶国均有其有害茶树的相关报道<sup>[2]</sup>。例如, 在日本, 小贯小绿叶蝉 *Empoasca onukii* (Matsuda) 被认为是茶园中主要叶蝉种类<sup>[3]</sup>。在印度茶园中报道的小绿叶蝉优势种被定名为 *Empoasca flavescens* (Fabricius)<sup>[2,4]</sup>。Ghauri<sup>[5]</sup> 发现 *Empoasca paraobliqua* (Ghauri) 在阿根廷茶园中为害。中国台湾地区的研究者认为危害茶园的小绿叶蝉是 *Jacobiasca formosana* (Paoli)<sup>[6]</sup>。由此可见, 在世界范围内, 为害不同国家和地区茶园的小绿叶蝉被认为不尽相同, 他们之间的种属和亲缘关系有待于进一步的考证。

在中国, 陈宗懋<sup>[7]</sup> 提出茶小绿叶蝉原本是桃树、林木上的非适生性害虫, 食性较杂, 危害性不大。20 世纪 60 年代, 我国山区、半山区大面积发展种植茶树, 其侵入茶园为害, 由于茶树嫩梢密集, 为其提供了稳定、丰富的食物来源, 茶小绿叶蝉很快适应了茶园生境, 种群数量迅速上升, 成为茶园害虫区系中最重要的优势种。但是, 关于我国茶园小绿叶蝉优势种的种名和归属问题却争议不断。最早葛钟麟等<sup>[8]</sup> 通过对来自全国 11 个省份茶园的小绿叶蝉标本进行形态鉴定, 提出中国茶园小绿叶蝉的优势种应为假眼小绿叶蝉 (*Empoasca vitis* Göthe)。但在此后的研究中, 茶小绿叶蝉优势种的归属问题并未得到一致的认同。在此情况下, 赵冬香等<sup>[9]</sup> 在 2000 年再次对全国多省茶园小绿叶蝉的标本进行生殖器结构分析, 肯定了葛钟麟等<sup>[8]</sup> 的结论。之后这个结果被广泛接受和一直沿用。

随着分子生物学技术的发展, 在原来形态学分析结果的基础上, 分子标记技术被引入茶小绿叶蝉种群分化和种类鉴定研究。付建玉等<sup>[10,11]</sup> 运用 RAPD 分子手段对多省茶园小绿叶蝉进行分析后认为各茶区小绿叶蝉的遗传基础较为一致, 应为假眼小绿叶蝉。李乐<sup>[12]</sup> 基于线粒体 16SrRNA 和 COI 基因序列发现茶小绿叶蝉 12 个不同地理种群之间差异不显著并认为是假眼小绿叶蝉。付建玉等<sup>[13]</sup> 基于线粒体 COI 基因分析了茶叶叶蝉与近缘种叶蝉的系统进化关系, 发现 12 个茶树叶蝉种群间的遗传距离为 0.5%~1.2%, 远小于昆虫物种 2% 的界限, 而茶叶叶蝉与外缘叶蝉 (葡萄小绿叶蝉、葡萄二星叶蝉、桃一点斑叶蝉) 的遗传距离在 14.8%~24.5%。之后周宁宁<sup>[14]</sup> 和 Fu 等<sup>[15]</sup> 分别借助不同的线粒体基因序列对来自中国大陆、中国台湾和日本茶园的小绿叶蝉的个体进

行分析, 虽然文献报道这三地茶园的小绿叶蝉有着不同的学名, 但研究结果显示三地种群间的遗传差异很小, 应该归属为同一个种。

紧接着, Qin 等<sup>[16]</sup> 通过对中国大陆、中国台湾和日本三地茶园的小绿叶蝉雄性标本进行外生殖器的分析, 提出三地茶小绿叶蝉同属一个种, 应该为日本茶园所报道的小贯小绿叶蝉种 (*Empoasca onukii* Matsuda)。秦道正等<sup>[17]</sup> 和施龙清<sup>[18]</sup> 分别对危害陕西和福建茶区茶树的小绿叶蝉雄性标本生殖器的解剖鉴定得出了和 Qin 等<sup>[16]</sup> 一致的结论。于晓飞等<sup>[19]</sup> 和孟召娜等<sup>[20]</sup> 对我国茶园小绿叶蝉大范围大批量的样本调查和检视进一步明确了小贯小绿叶蝉是全国绝大部分茶区的优势种群。至此, 学者开始在研究中认同在中国大陆、中国台湾和日本三地茶园的小绿叶蝉为小贯小绿叶蝉。在本文中仍沿用传统的“茶小绿叶蝉”来指代小贯小绿叶蝉。

## 1.2 茶小绿叶蝉地理种群的遗传关系

在明确了茶小绿叶蝉优势种的分类归属后, 也有不少研究进一步分析了中国不同茶区茶小绿叶蝉种群之间的遗传关系以获得其种群迁移、扩散相关的信息。例如, Zhang 等<sup>[21]</sup> 开发了茶小绿叶蝉 18 个多态性的微卫星分子标记, 并基于这些标记对 5 个茶小绿叶蝉种群进行多态性、遗传多样性和遗传结构的分析, 随后 Zhang 等<sup>[22]</sup> 利用这些标记对中国茶区更大范围采样的 19 个茶小绿叶蝉种群进行了遗传结构分析, 结果显示在中国四大茶区茶小绿叶蝉种群遗传多样性和分化水平低, 种群可以划分为 4 个类群 (江北、西南 1、西南 2 和华南), 呈现出明显的地理距离隔离格局。李金玉<sup>[23]</sup> 对采自中国四大茶区的 59 个茶小绿叶蝉种群的分析发现: 基于 23 个微卫星位点, 种群呈现一定的遗传分化水平和明显的地理距离隔离格局, 种群结构表现为云南、西南、华南、江南+江北 4 个类群, 异地种群间基因交流率很低; 基于 3 个线粒体基因, 种群间没有检测到地理距离格局和明显的遗传分化结构, 异地种群间存在大量的基因交流, 并推测结果的差异可能与两个分子标记代表的时间尺度不同有关; 而在将微卫星遗传数据与地理环境因子相关联的景观遗传学分析则进一步明确了地理距离和气温差异是与种群遗传分化有关的关键因子。同样基于 23 个微卫星分子标记, 李金玉等<sup>[24]</sup> 对采自福建省安溪周边景观结构和组成不同的 18 个茶园的茶小绿叶蝉种群进行了分析, 结果表明这样小尺度区域内茶小绿叶蝉种群间存在遗传分化结构和地理距离隔离格局, 并且遗传结构与茶园周边景观特征有关。

## 2 茶小绿叶蝉的发生为害特点及生物学特性

### 2.1 茶小绿叶蝉的发生为害特点

茶小绿叶蝉繁殖快，世代周期短，发生代数多。由于地理和气候等环境因素差异，中国各茶区茶小绿叶蝉一年发生世代数差异明显，呈现由北向南递增趋势，山东约9代，海南15代以上，福建11~13代<sup>[18]</sup>。同时，在不同茶园，茶小绿叶蝉的发生也有差异，幼龄、留养、管理差和单一化种植模式的集约化茶园有利于茶小绿叶蝉发生，多样化种植模式茶园茶小绿叶蝉数量稳定，不易造成大的危害和严重的经济损失<sup>[12, 14]</sup>。

茶小绿叶蝉是不完全变态昆虫，各个虫态均能对茶树造成危害。若虫和成虫具有趋嫩性，以刺吸式口器吸食茶树嫩叶和嫩梢的汁液，引起叶肉组织细胞破裂，导致被害芽梢营养、水分流失和生长受阻；同时雌性成虫还会将卵产于茶嫩梢韧皮部内，破坏输导组织，阻碍茶梢内部营养物质的运输和茶梢的正常生长<sup>[18]</sup>。茶树受害后，新芽减少，芽叶萎缩和卷曲，严重时芽叶焦枯，新叶脱落，茶树冠顶部呈现火烧状（叶蝉烧），严重影响其产量<sup>[18]</sup>。被害后的茶叶内含物也会发生变化，如多酚和氨基酸含量下降，对茶叶的品质也会产生一定的影响<sup>[12, 14]</sup>。据统计，正常年份下，茶小绿叶蝉给长江中下游茶区夏、秋茶造成10%~15%的损失，而在重灾年份损失则高达50%以上<sup>[12]</sup>。

### 2.2 茶小绿叶蝉的生物学特性

周永梅等<sup>[25]</sup>在室内观察了茶小绿叶蝉的蜕皮、羽化和孵化节律，若虫蜕皮持续时间大约在5 min左右，但蜕皮的高峰时间段有差异，1、2龄在24 h内分布均匀，3龄在2:00~4:00，4龄在4:00~7:00和16:00~19:00；雌雄虫羽化时间无显著差异（16.5 min左右），雌雄虫羽化高峰分别在5:00~12:00和4:00~11:00；卵孵化持续时间7.5 min左右，卵孵化高峰出现在5:00~8:00。乔利等<sup>[26]</sup>对茶小绿叶蝉实验种群生命表的研究表明在15℃、19℃、23℃、27℃、30℃的恒温条件下，若虫期、产卵前期、卵期、世代历期分别为5.54~18.09 d、4.02~6.86 d、5.54~14.68 d、15.10~39.63 d；若虫期、产卵前期、卵期的发育起点温度分别为36.85℃、7.86℃、11.06℃，有效积温分别为136.59、74.98、93.54 d·℃；整个世代的有效积温为305.33 d·℃；雌雄成虫的寿命分别为6.48~24.10、5.38~19.39 d。在供试温度条件下，27℃时

内禀增长率最高（0.16），19℃时世代存活率最高（90.00%），19℃时净生殖率最大（18.42）。

### 2.3 茶小绿叶蝉的生态学特性

2.3.1 茶小绿叶蝉与茶树品种 茶小绿叶蝉和茶树之间有着非常复杂而且独特的互作关系，茶小绿叶蝉作为茶树重要害虫，其取食为害会影响茶树生长并严重影响茶叶的产量和品质，但不同茶树品种间受其“青睐”的程度有差异，这种差异可能与不同茶树品种在物理和化学屏障等组织差异有关，也有可能茶树在被取食后诱导的一系列防御过程有关。

金珊<sup>[27]</sup>和金珊等<sup>[28]</sup>比较了茶小绿叶蝉在8个不同茶树品种上的田间数量动态、生命周期、每雌产卵量和若虫成活率等，明确举岩、德清、建德和长兴紫笋为抗叶蝉品种，蓝天、斑竹园、竹山一号和恩标为感叶蝉品种；更进一步的研究发现茶树不同抗虫品种具有不同的抗虫机理，蜡质含量、茸毛长度和密度决定叶表面抗性，下表皮厚度是叶片下表皮-叶肉层抗性的重要决定因素，而生化成分则可能是形成叶肉组织抗性的主要因素。Miao等<sup>[29]</sup>利用电子刺探图谱（EPG）技术比较茶小绿叶蝉在茶树感性和抗性品种上取食行为差异。王蔚等<sup>[30]</sup>对福建省7个主栽茶树品种上茶小绿叶蝉的调查研究表明茶小绿叶蝉偏向于选择黄绿色芽叶的茶树品种，而对偏紫色芽叶的茶树品种选择性较弱。郑雨婷<sup>[31]</sup>的研究也表明黄观音、龙井43、紫鹃、宁波黄金芽和金观音相对于安吉白茶、乌牛早、紫牡丹、中茶108、黄牡丹和铁观音表现出对茶小绿叶蝉更高的抗性，进一步的分析发现儿茶素含量从感虫品种到抗虫品种明显升高，而咖啡碱、氨基酸和可溶性糖含量则未与茶树抗感性明显相关。而对无性福鼎、褚叶齐、皖农95号、雨前大芽、黄叶早、龙井43、安徽1号和福鼎大白茶的调查研究则显示这些品种上的叶蝉密度差异明显，以福鼎大白茶和皖农95号上的密度最大，雨前大芽上最小<sup>[32]</sup>。

在取食诱导防御方面，吴雄强<sup>[33]</sup>发现茶小绿叶蝉为害能诱导茶树在0.5 h内发生生理生化（如茶多酚含量）变化，并推测茶树能通过保护性酶抵御茶小绿叶蝉的为害。杨会敏<sup>[34]</sup>从茶小绿叶蝉取食32 h的茶树叶片中分离获得了21个受取食诱导的基因，包括编码植物防卫蛋白的基因、与CBL-CIPK信号通路有关的基因，参与植物次生代谢合成的基因、与植物氧化胁迫有关的基因，以及编码细胞壁蛋白的基因。潘杰<sup>[35]</sup>则从茶树中克隆获得了半胱氨酸蛋白酶抑制剂基因（*Cs-Cystatin*）和核糖体失活蛋白基因（*Cs-RIP*），将体外表达获得的*Cs-RIP*蛋白饲喂茶

小绿叶蝉,发现其对茶小绿叶蝉具有明显的毒性作用。Zhao 等<sup>[36]</sup>通过代谢组和植物激素分析发现被茶小绿叶蝉取食的茶树表现出明显的类黄酮化合物和糖苷结合的挥发物的积累以及氨基酸和谷胱甘肽含量的降低,进一步转录组的分析显示与苯基丙烷和类黄酮生物合成、植物-病原体相互作用以及表皮蜡生物合成有关的基因被显著上调,特别涉及表皮蜡烷烃形成的 CER1 同系物的转录水平显著升高,并且观察到茶叶蜡中 C29 烷烃水平的增加。任倩倩等<sup>[37]</sup>发现抗、感茶树品种被茶小绿叶蝉取食后被明显激活的基因相同(调控萜类合成的关键基因),但释放的挥发性成分有差异,感、抗虫品种分别为单萜类物质、倍半萜类物质释放多。刘丰静等<sup>[38]</sup>基于茶小绿叶蝉雌成虫的蜜露排泄量研究了茶树叶片组织结构与叶蝉抗性之间的相关性,发现茶树叶片茸毛长度和密度分别与蜜露排泄量呈显著正、负相关,叶面积、叶片厚度、色差等指标与蜜露排泄量之间无显著相关性。

有研究报道茶树被茶小绿叶蝉适度地取食可以释放特殊物质,那些被茶小绿叶蝉取食过的茶梢可以加工制成有独特风味的“江山美人茶”“东方美人茶”<sup>[39]</sup>。Scott 等<sup>[40]</sup>的研究证实茶树的挥发物受到取食的茶小绿叶蝉密度的显著影响,而与叶片损伤程度关系不大,特别是萜烯类挥发物对叶蝉密度最敏感,其浓度随叶蝉密度线性增加。

2.3.2 茶小绿叶蝉与气候 陈婉华等<sup>[41]</sup>和唐志勇等<sup>[42]</sup>通过小气候观测站和田间虫口数量的调查发现茶小绿叶蝉发生受外界气象环境影响大,其中气温影响最大,其次是降水、湿度和日照。李慧玲等<sup>[43]</sup>的田间试验结果同样显示温度对茶小绿叶蝉影响最大,气温高于 28 ℃ 或者低于 20 ℃ 都不适宜茶小绿叶蝉产卵繁殖。乔利等<sup>[44]</sup>基于田间种群的多年调查发现温度直接影响茶小绿叶蝉的发生数量,发生高峰期的平均温度范围为 16~26 ℃。与此同时,乔利<sup>[26]</sup>、Qiao 等<sup>[45]</sup>和乔利等<sup>[44,46]</sup>在室内的温度梯度试验证实温度与茶小绿叶蝉的生长发育和繁殖关系密切,19~27 ℃ 是最适宜其生长发育和繁殖的温度范围,当温度高于 38 ℃ 或低于 5 ℃ 时,其存活率和产卵量都显著下降,而当高于 44 ℃ 或低于 -5 ℃ 时,成虫大量死亡;同时,随着温度的变化,茶小绿叶蝉保护酶活性、总氧化能力和总蛋白含量均被观察到发生显著变化,而且热激蛋白基因的表达水平也发生显著变化。因此,茶小绿叶蝉的生长发育、繁殖和种群发展与气候因子关系密切,特别与温度的关系最大。

2.3.3 茶小绿叶蝉与茶园生境 胡强<sup>[47]</sup>对 10 个生境条件不同的茶园进行系统调查,发现不同茶园茶小绿叶蝉发生高峰期有差异,山林间茶园生境条件好,天敌资源丰富,茶小绿叶蝉虫口稳定;相比之下,植被丰富度单一的茶园,虫口呈间歇性爆发状态,给茶园造成较大危害;由此提出在茶园周围保留更多其他植物或通过间作经济林木等措施,可以增加茶园生态环境的复杂性,提高茶园自身的自然调控能力。叶火香等<sup>[48]</sup>同样证实种植模式可改变茶小绿叶蝉及其他茶园节肢动物群落间格局和益害比,林间茶园益害个体数目是普通丰产茶园的 2 倍。黎健龙等<sup>[49]</sup>对 4 类茶园(小乔木生境茶园、相思树生境茶园、稻田生境茶园、生活区生境茶园)的田间调查也显示周边生境结构植物丰富和相对稳定的茶园可以显著提高蜘蛛的种群数量,进而增强其对茶小绿叶蝉的自然控制能力。崔林等<sup>[32]</sup>对 13 类茶园的研究表明茶-杂草茶园和林-茶-杂草茶园的叶蝉密度显著多于其他类型茶园,推测杂草可能是叶蝉重要的转主寄主,可以促进叶蝉种群繁衍,建议施药之前应先除草。李金玉等<sup>[24]</sup>将茶小绿叶蝉种群遗传信息与茶园景观格局关联分析后,发现茶园周围 1 000 m 范围内草地面积占比是与叶蝉种群遗传分化有关的关键因子,其与叶蝉种群的遗传多样性呈显著正相关,推测茶园周围景观组成和尺度范围可能通过影响茶小绿叶蝉种群的扩散和定殖过程而与其种群遗传结构相关联。

除了自然生境,在茶园中引入功能植物的情况也有研究报道。李慧玲等<sup>[50]</sup>的研究表明相比于常规除草茶园,间作铺地木蓝(*Indigofera hendecaphylla* Jacq.)和猪屎豆(*Crotalaria pallida* Aiton)茶园茶小绿叶蝉虫口数量显著减少,间作铺地木蓝和罗顿豆(*Lotononis bainesii* Barker)、间作白三叶(*Trifolium repens* L.)和圆叶决明 [*Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene]、间作白三叶和平托花生(*Arachis pintoi* Krapov. & W.C. Greg.)茶园茶小绿叶蝉卵寄生蜂数量显著增加。Chen 等<sup>[51]</sup>将茶与百喜草 [*Paspalum notatum* Flügge (Poales: Poaceae)]或圆叶决明间作时,其上茶小绿叶蝉种群数量在第一年显著高于间作裸露地的处理,第二年则相反,间作百喜草时还可以显著提高茶树上叶蝉天敌捕食螨种群的数量。Zhang 等<sup>[52]</sup>在茶园间作决明子(*Cassia tora*)和益母草(*Leonurus artemisia*)的研究发现其可以显著降低茶小绿叶蝉种群数量和促进天敌种群数量的生态效应。由此可见,茶小绿叶蝉与茶园生境和植被丰富度关系密切。非茶树生境和植物可能因为挥发物对

茶小绿叶蝉产生引诱或趋避作用从而直接影响其种群数量和动态过程，也有可能通过土壤、微气候改变影响茶树生长或者通过影响天敌种群后间接影响茶小绿叶蝉。

此外，栽培管理措施的不同也会引起茶园生境条件的差异进而影响茶小绿叶蝉种群。吴雄强<sup>[33]</sup>研究表明有机茶园叶蝉着卵量最低、卵缨小蜂寄生率最高，平地茶园次之，接着便是高山茶园，并且三地茶园之间的差异显著。崔林等<sup>[32]</sup>的调查也显示从普通新建茶园到无公害茶园再到有机茶园，茶小绿叶蝉密度递减。顾松松等<sup>[53]</sup>从节肢动物群落结构角度的研究也证实包括茶小绿叶蝉在内的害虫发生数量在有机茶园明显低于普通茶园和无公害茶园，同时主要天敌昆虫的数量则反之。

**2.3.4 茶小绿叶蝉的抗药性** 茶小绿叶蝉已对多种杀虫剂产生了较高的抗药性，但各地区的抗药性水平有所不同，产生抗性的杀虫剂种类也有差异。国内最早研究茶小绿叶蝉抗药性的是在2000年<sup>[54]</sup>，该研究报道了福建农林大学西区茶园、南区茶园、福安茶场和寿宁茶场4个茶区的茶小绿叶蝉对阿克泰、莫比朗、吡虫啉、啶虫脒、阿维菌素和高效氯氰菊酯产生了不同程度的抗性，特别是寿宁茶场对阿克泰的抗性增长至13.3倍，并推测茶小绿叶蝉的抗药性很普遍，若不加以控制，抗性将会发展到更高水平。庄家祥等<sup>[55]</sup>进一步报道了金山茶园、北峰茶园、福安茶场和武夷山茶场的茶小绿叶蝉均对联苯菊酯、溴虫腈、三氟氯氰菊酯、吡虫啉、高效氯氰菊酯、啶虫脒、噻嗪酮和杀螟丹等药剂产生了不同程度的抗性，特别是啶虫脒的抗性增长最为迅速，在武夷山茶场和福安茶场相对抗性倍数达52.3倍和97.4倍，与王念武等<sup>[54]</sup>报道的结果相比，抗性水平进一步提升。后来，研究监测了福州晋安宦溪、南平建瓯东峰、泉州安溪金谷和宁德蕉城霍童等茶主产区的茶小绿叶蝉对联苯菊酯和啶虫脒的抗性水平，发现联苯菊酯和啶虫脒已达到高抗水平<sup>[56]</sup>；进一步的生化分析证明羧酸酯酶和细胞色素P450氧化酶活性的增强在茶小绿叶蝉对联苯菊酯的抗性中起了重要的作用<sup>[57]</sup>。Wei等<sup>[58]</sup>测定了江苏、浙江、贵州和河南茶园的茶小绿叶蝉对联苯菊酯、吡虫啉、啶虫脒、茚虫威、异丙威、虫螨腈、毒死蜱、苦参碱的敏感水平，结果显示茚虫威最敏感（ $LC_{50} < 0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ），异丙威（ $LC_{50} > 5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ）和苦参碱（ $LC_{50} > 95 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ）最不敏感，虫螨腈和茚虫威、虫螨腈和异丙威之间有较高的产生交叉抗性的风险。在Wei等<sup>[58]</sup>工作的基础上，Wei等<sup>[59]</sup>进一步明确了

来自中国四大茶区13个茶园的茶小绿叶蝉对13种杀虫剂的敏感水平。

### 3 研究展望

茶小绿叶蝉是我国茶园发生最普遍、危害最严重的害虫之一，是未来茶树植保的研究重点<sup>[60]</sup>。为了寻找茶小绿叶蝉的有效控制方法，人们进行了涉及化学、物理、生态、生物防治等多方面内容的大量研究，而在田间实践中，化学防治仍然是主要手段。化学农药的大量不合理使用是造成茶园害虫大爆发、抗药性以及茶叶农药残留的主要因素。同时绿色发展的新理念要求和《农作物病虫害防治条例》的推出对推进绿色防控也提出了更高要求。因此，进一步加强对茶小绿叶蝉的生物学、生态学特性认识和绿色防控技术研究对促进我国茶产业的可持续发展至关重要。今后可以考虑重点加强和关注以下几个方面的工作：

(1) 更准确和及时地做好预测预报和预警工作是茶小绿叶蝉绿色防控技术的基础性工作，将种群发生数量动态与气候、环境因子等相关联，可以为该基础工作提供更准确和有效的信息。

(2) 发展茶园景观生态调控技术体系，在大时空尺度范围内研究茶小绿叶蝉的发生和种群动态以及遗传变异，进行生态岛、斑块、廊道等多种生境的设计和布局的研究，创造有利于天敌的环境条件，抑制害虫种群，提升农业生态系统的保育控害功能，实现从靶标害虫控制到作物-害虫-天敌食物链的调控。

(3) 进一步加强抗虫品种的筛选、鉴定和利用研究，进一步深入取食诱导抗性机理的研究和抗性基因资源的挖掘，选育和推广具有抗虫特性的茶树品种是经济有效地防治茶小绿叶蝉危害的方法之一。

#### 参考文献：

- [1] HAZARIKA L K, BHUYAN M, HAZARIKA B N. Insect pests of tea and their management [J]. *Annual Review of Entomology*, 2009, 54: 267-284.
- [2] SAHA D, MUKHOPADHYAY A. Insecticide resistance mechanisms in three sucking insect pests of tea with reference to North-East India: an appraisal [J]. *International Journal of Tropical Insect Science*, 2013, 33 (1): 46-70.
- [3] KAKOKI S, KAMIMURO T, TSUDA K, et al. Effect of partial pesticide spraying on the number of major pests and damage to new shoots of tea plants [J]. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2019, 22 (3): 826-837.
- [4] SAHA D, ROY S, MUKHOPADHYAY A. Seasonal incidence and

- enzyme-based susceptibility to synthetic insecticides in two upcoming sucking insect pests of tea [J]. *Phytoparasitica*, 2012, 40 (2) : 105-115.
- [5] GHAURI M S K. A new species of *Empoasca* Walsh (Homoptera; Cicadelloidea) attacking tea in Argentina [J]. *Annals and Magazine of Natural History*, 1964, 7 (75) : 189-192.
- [6] OGURA M, TERADA I, SHIRAI F, et al. Tracing aroma characteristics changes during processing of the famous Formosa oolong tea "Oriental Beauty" [C]//Proceedings of 2004 International Conference on O-Cha (tea) Culture and Science, Shizuoka, Japan. 2005: 240-242.
- [7] 陈宗懋. 茶园病虫区系的构成和演替 [J]. 中国茶叶, 1979, 1 (1) : 6-8.  
CHEN Z M. The composition and succession of diseases and insect pests in tea plantation [J]. *China Tea*, 1979, 1 (1) : 6-8. (in Chinese)
- [8] 葛钟麟, 张汉鹤. 中国茶叶蝉种类研究 (一) [J]. 茶业通报, 1988, 1 (5) : 15-18.  
GE Z L, ZHANG H G. Study on the species of tea leafhopper in China [J]. *Journal of Tea Business*, 1988, 1 (5) : 15-18. (in Chinese)
- [9] 赵冬香, 陈宗懋, 程家安. 茶小绿叶蝉优势种的归属 [J]. 茶叶科学, 2000, 20 (2) : 101-104.  
ZHAO D X, CHEN Z M, CHENG J A. Belongingness of tea leafhopper dominant species [J]. *Journal of Tea Science*, 2000, 20 (2) : 101-104. (in Chinese)
- [10] 付建玉, 韩宝瑜. 茶小绿叶蝉优势种的归属的分子依据 [J]. 科技通报, 2005, 21 (5) : 549-552, 556.  
FU J Y, HAN B Y. A molecular analysis on genetic relationships among individuals of tea leafhopper [J]. *Bulletin of Science and Technology*, 2005, 21 (5) : 549-552, 556. (in Chinese)
- [11] 付建玉, 韩宝瑜. 七省茶园假眼小绿叶蝉的 RAPD 分析及其亲缘关系探讨 [J]. 浙江农业学报, 2007, 19 (1) : 11-14.  
FU J Y, HAN B Y. Studies on genetic relationships among populations of *Empoasca vitis* (Göthe) from tea gardens in seven provinces based on RAPD analysis [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2007, 19 (1) : 11-14. (in Chinese)
- [12] 李乐, 付建玉, 肖强. 假眼小绿叶蝉地理种群的线粒体 DNA 16S rRNA 基因序列分析及遗传分化研究 [J]. 应用昆虫学报, 2013, 50 (3) : 675-685.  
LI L, FU J Y, XIAO Q. Sequence analysis of the mtDNA gene and genetic differentiation in geographic populations of *Empoasca vitis* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2013, 50 (3) : 675-685. (in Chinese)
- [13] 付建玉, 李乐, 袁志军, 等. 基于 mtDNA COI 的假眼小绿叶蝉系统发育研究 [J]. 茶叶科学, 2014, 34 (6) : 601-608.  
FU J Y, LI L, YUAN Z J, et al. Molecular phylogenetic analysis of tea green leafhopper (*Empoasca vitis*) based on mtDNA COI sequences [J]. *Journal of Tea Science*, 2014, 34 (6) : 601-608. (in Chinese)
- [14] 周宁宁. 基于线粒体 CO I 和 CO II 基因的茶园假眼小绿叶蝉地理种群的遗传分化研究 [D]. 杭州: 中国计量学院, 2014.  
ZHOU N N. Study on genetic variation of geographic population of *Empoasca vitis* (Göthe) in tea plantation based on the mitochondrial COI and COII genes [D]. Hangzhou: China Jiliang University, 2014. (in Chinese)
- [15] FU J Y, HAN B Y, XIAO Q. Mitochondrial COI and 16sRNA evidence for a single species hypothesis of *E. Vitis*, *J. Formosana* and *E. onukii* in East Asia [J]. *PLoS One*, 2014, 9 (12) : e115259.
- [16] QIN D, ZHANG L, XIAO Q, et al. Clarification of the identity of the tea green leafhopper based on morphological comparison between Chinese and Japanese specimens [J]. *PLoS One*, 2015, 10 (9) : e0139202.
- [17] 秦道正, 肖强, 王玉春, 等. 危害陕西茶区茶树的小绿叶蝉种类订正及对我国茶树小绿叶蝉的再认识 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42 (5) : 124-134, 140.  
QIN D Z, XIAO Q, WANG Y C, et al. Revision of green leafhopper species damaging tea shrub in Shaanxi and reconsideration of the species in China [J]. *Journal of Northwest A& F University (Natural Science Edition)*, 2014, 42 (5) : 124-134, 140. (in Chinese)
- [18] 施龙清. 福建茶小绿叶蝉种类鉴定及其对光的的行为响应 [D]. 福州: 福建农林大学, 2016.  
SHI L Q. Identification of the tea green leafhopper in Fujian, China, and its behavioral responses to varying light conditions [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2016. (in Chinese)
- [19] 于晓飞, 孟泽洪, 杨茂发, 等. 贵州及南方其他部分省区茶树小绿叶蝉种类调查与考订 [J]. 应用昆虫学报, 2015, 52 (5) : 1277-1287.  
YU X F, MENG Z H, YANG M F, et al. Investigation and taxonomic revision of green tea leafhopper species of Guizhou and other provinces in South China [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2015, 52 (5) : 1277-1287. (in Chinese)
- [20] 孟召娜, 边磊, 罗宗秀, 等. 全国主产茶区茶树小绿叶蝉种类鉴定及分析 [J]. 应用昆虫学报, 2018, 55 (3) : 514-526.  
MENG Z N, BIAN L, LUO Z X, et al. Taxonomic revision and analysis of the green tea leafhopper species in China's main tea production area [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2018, 55 (3) : 514-526. (in Chinese)
- [21] ZHANG L, DIETRICH C H, QIN D. Microsatellite markers from tea green leafhopper *Empoasca* (*Matsumurasca*) *onukii*: A powerful tool for studying genetic structure in tea plantations [J]. *BMC Genetics*, 2016, 17 (1) : 112.
- [22] ZHANG L, WANG F, QIAO L, et al. Population structure and genetic differentiation of tea green leafhopper, *Empoasca* (*Matsumurasca*) *onukii*, in China based on microsatellite markers [J]. *Scientific Reports*, 2019, 9 (1) : 1202.
- [23] 李金玉. 茶小绿叶蝉种群遗传结构及其景观遗传学研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2020.  
LI J Y. Population genetic structure and landscape genetics of *Empoasca onukii* [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2020. (in Chinese)
- [24] 李金玉, 牛东升, 陈杰, 等. 茶园周边景观格局对茶小绿叶蝉种群遗传结构的影响 [J]. 昆虫学报, 2020, 63 (10) : 1242-1259.

- LI J Y, NIU D S, CHEN J, et al. Effects of landscape pattern around tea plantation on the population genetic structure of the tea green leafhopper, *Empoasca onukii*(Hemiptera: Cicadellidae) [J]. *Science China Earth Sciences*, 2020, 63 (10): 1242–1259. (in Chinese)
- [25] 周永梅, 施龙清, 谢明福, 等. 小贯小绿叶蝉蜕皮、羽化及孵化节律 [J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2016, 45 (6): 625–630. ZHOU Y M, SHI L Q, XIE M F, et al. Molting, eclosion and hatching rhythms of tea green leafhopper, *Empoasca onukii* [J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 2016, 45 (6): 625–630. (in Chinese)
- [26] 乔利. 茶小绿叶蝉 *Empoasca onukii* Matsuda 对短期高低温的响应及分子机制研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015. QIAO L. Response of *Empoasca onukii* Matsuda to short-term high or low temperature and the molecular mechanisms [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2015. (in Chinese)
- [27] 金珊. 不同茶树品种抗假眼小绿叶蝉机理研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012. JIN S. Resistance mechanisms of tea plant cultivars to tea green leafhopper [D]. Yangling: Northwest Agriculture & Forestry University, 2012. (in Chinese)
- [28] 金珊, 孙晓玲, 陈宗懋, 等. 不同茶树品种对假眼小绿叶蝉的抗性 [J]. *中国农业科学*, 2012, 45 (2): 255–265. JIN S, SUN X L, CHEN Z M, et al. Resistance of different tea cultivars to *Empoasca vitis* Göthe [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45 (2): 255–265. (in Chinese)
- [29] MIAO J, HAN B Y, ZHANG Q H. Probing behavior of *Empoasca vitis* (Homoptera: Cicadellidae) on resistant and susceptible cultivars of tea plants [J]. *Journal of Insect Science*, 2014, 14 (1): 223.
- [30] 王蔚, 吴满容, 张思校, 等. 茶小绿叶蝉在福建省茶树品种上的选择机制初探 [J]. *河南农业科学*, 2016, 45 (4): 80–84. WANG W, WU M R, ZHANG S X, et al. Preliminary study on selection mechanism of *Empoasca onukii* on tea varieties in Fujian Province [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2016, 45 (4): 80–84. (in Chinese)
- [31] 郑雨婷. 茶树品种抗茶小绿叶蝉取食差异及其蝉害茶样品质差别研究 [D]. 杭州: 中国计量大学, 2017. ZHENG Y T. Difference in resistance of tea plant cultivars against tea green leafhopper and disparity of quality of their steamed teas after leafhopper damaged [D]. Hangzhou: China Jiliang University, 2017. (in Chinese)
- [32] 崔林, 俞鹏飞, 韩善捷, 等. 茶园环境和管理技术及茶树品种对假眼小绿叶蝉密度的影响 [J]. *安徽农业大学学报*, 2017, 44 (6): 963–967. CUI L, YU P F, HAN S J, et al. Effects of tea plantation environment, cultivation and cultivar on the population density of tea green leafhopper [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2017, 44 (6): 963–967. (in Chinese)
- [33] 吴雄强. 小绿叶蝉及其缨小蜂种群动态和茶树对叶蝉刺吸的生理反应 [D]. 福州: 福建农林大学, 2009. WU X Q. Studies on the population dynamics of small green leafhopper and its mymarids and the tea physiological responses to small green leafhopper piercing-sucking. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2009. (in Chinese)
- [34] 杨会敏. 茶树抗假眼小绿叶蝉相关基因的克隆及表达研究 [D]. 信阳: 信阳师范学院, 2010. YANG H M. Cloning and expression of anti-*Empoasca vitis*-related genes in tea [D]. Xinyang: Xinyang Normal University, 2010. (in Chinese)
- [35] 潘杰. 茶树抗性相关蛋白 (Cs-cystatin, Cs-Rip) 对假眼小绿叶蝉消化道组织的影响 [D]. 厦门: 厦门大学, 2014. PAN J. Toxic effects of resistance associated proteins (cs-cystatin, cs-rip) of tea on *Empoasca vitis* [D]. Xiamen: Xiamen University, 2014. (in Chinese)
- [36] ZHAO X, CHEN S, WANG S, et al. Defensive responses of tea plants (*Camellia sinensis*) against tea green leafhopper attack: A multi-omics study [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2019, 10: 1705.
- [37] 任倩倩, 庄明珠, 蔡晓明, 等. 小贯小绿叶蝉取食诱导抗、感茶树品种挥发物的释放 [J]. *茶叶科学*, 2020, 40 (6): 795–806. REN Q Q, ZHUANG M Z, CAI X M, et al. The release of volatiles in resistant and susceptible tea cultivars under *Empoasca onukii* feeding [J]. *Journal of Tea Science*, 2020, 40 (6): 795–806. (in Chinese)
- [38] 刘丰静, 冉伟, 李喜旺, 等. 小贯小绿叶蝉在 5 个茶树品种(系)上的蜜露排泄量与茶树叶片结构比较 [J]. *茶叶科学*, 2020, 40 (5): 625–631. LIU F J, RAN W, LI X W, et al. The comparison of leaf structures and *Empoasca onukii* matsuda honeydew excretion among five tea cultivars (strains) [J]. *Journal of Tea Science*, 2020, 40 (5): 625–631. (in Chinese)
- [39] CHO J Y, MIZUTANI M, SHIMIZU B I, et al. Chemical profiling and gene expression profiling during the manufacturing process of Taiwan oolong tea “Oriental Beauty” [J]. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 2007, 71 (6): 1476–1486.
- [40] SCOTT E R, LI X, WEI J P, et al. Changes in tea plant secondary metabolite profiles as a function of leafhopper density and damage [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2020, 11: 636.
- [41] 陈婉华, 黄卫国. 茶小绿叶蝉对茶树生长影响的气象预测及防治方法研究 [J]. *福建热作科技*, 2019, 44 (2): 28–30. CHEN W H, HUANG W G. A study on the meteorological forecast of the tea growth influenced by the tea green fly and its prevention method [J]. *Fujian Science & Technology of Tropical Crops*, 2019, 44 (2): 28–30. (in Chinese)
- [42] 唐志勇, 唐学军. 气温对茶小绿叶蝉发生的影响及预测 [J]. *安徽农业科学*, 2010, 38 (7): 3523–3524. TANG Z Y, TANG X J. Effects and forecast of temperature on occurrence of *Empoasca pirusuga* matumura [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38 (7): 3523–3524. (in Chinese)
- [43] 李慧玲, 林乃铨. 假眼小绿叶蝉卵孳小蜂的生物学特性研究 [J]. *茶叶科学*, 2008, 28 (6): 407–413. LI H L, LIN N Q. Studies on the biology of the egg parasitoids of tea leafhopper, *Empoasca vitis* (Göthe) [J]. *Journal of Tea Science*, 2008, 28 (6): 407–413. (in Chinese)

- [44] 乔利, 吕立哲, 吴淑平, 等. 温度对豫南地区茶园小绿叶蝉种群的影响 [J]. *中国农学通报*, 2016, 32 (1): 146-149.  
QIAO L, LV L Z, WU S P, et al. Influence of temperature on tea leafhopper population in southern Henan [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2016, 32 (1): 146-149. (in Chinese)
- [45] QIAO L, WU J X, QIN D Z, et al. Gene expression profiles of heat shock proteins 70 and 90 from *Empoasca onukii* (Hemiptera: Cicadellidae) in response to temperature stress [J]. *Journal of Insect Science*, 2015, 15 (1): 49.
- [46] 乔利, 秦道正, 卢兆成, 等. 温度对茶小绿叶蝉成虫存活率及保护酶系的影响 [J]. *植物保护学报*, 2015, 42 (2): 223-228.  
QIAO L, QIN D Z, LU Z C, et al. Effects of temperature on survival rate and protection enzymes of *Empoasca onukii* Matsuda [J]. *Journal of Plant Protection*, 2015, 42 (2): 223-228. (in Chinese)
- [47] 胡强. 茶园环境与管理方式对叶蝉和蜘蛛的调控及叶蝉的防治研究[D]. 重庆: 西南大学, 2009.  
HU Q. Studies on effect of tea garden environments and cultivation measures on leafhoppers and araneids and control over leafhopper [D]. Chongqing: Southwest University, 2009. (in Chinese)
- [48] 叶火香, 韩善捷, 韩宝瑜. 四种不同种植模式茶园节肢动物的群落组成 [J]. *植物保护学报*, 2016, 43 (3): 377-383.  
YE H X, HAN S J, HAN B Y. The composition of arthropod communities in four types of tea plantations with different planting patterns [J]. *Journal of Plant Protection*, 2016, 43 (3): 377-383. (in Chinese)
- [49] 黎健龙, 唐劲驰, 黎秀娣, 等. 周边不同生境条件对茶园蜘蛛群落及叶蝉种群时空结构的影响 [J]. *生态学报*, 2014, 34 (9): 2216-2227.  
LI J L, TANG J C, LI X D, et al. Effects of the surrounding habitat on the spider community and leafhopper population in tea plantations [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2014, 34 (9): 2216-2227. (in Chinese)
- [50] 李慧玲, 林乃铨, 郭剑雄, 等. 茶园间作绿肥对假眼小绿叶蝉及其天敌缨小蜂的影响 [J]. *中国生物防治学报*, 2016, 32 (1): 50-54.  
LI H L, LIN N Q, GUO J X, et al. Effects on small green leafhopper and its natural enemy mymarid in tea plantations with intercropping of green manure plants [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2016, 32 (1): 50-54. (in Chinese)
- [51] CHEN L L, YUAN P, POZSGAI G, et al. The impact of cover crops on the predatory mite *Anystis baccharum* (Acari, Anystidae) and the leafhopper pest *Empoasca onukii* (Hemiptera, Cicadellidae) in a tea plantation [J]. *Pest Management Science*, 2019, 75 (12): 3371-3380.
- [52] ZHANG Z Q, ZHOU C, XU Y Y, et al. Effects of intercropping tea with aromatic plants on population dynamics of arthropods in Chinese tea plantations [J]. *Journal of Pest Science*, 2017, 90 (1): 227-237.
- [53] 顾松松, 胡秋龙, 龚志华, 等. 不同管理模式下茶园节肢动物的群落结构 [J]. *贵州农业科学*, 2019, 47 (5): 31-35.  
GU S S, HU Q L, GONG Z H, et al. Community structure of arthropods in tea plantations under different management modes [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2019, 47 (5): 31-35. (in Chinese)
- [54] 王念武, 徐金汉, 陈峥, 等. 不同茶园假眼小绿叶蝉抗药性比较 [J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2004, 33 (2): 169-173.  
WANG N W, XU J H, CHEN Z, et al. Resistance level of *Empoasca vitis* (Göthe) in different tea plantations [J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 2004, 33 (2): 169-173. (in Chinese)
- [55] 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.  
ZHUANG J X, FU J W, SU Q Q, et al. The regional diversity of resistance of tea green leafhopper, *Empoasca vitis* (Göthe), to insecticides in Fujian Province [J]. *Journal of Tea Science*, 2009, 29 (2): 154-158. (in Chinese)
- [56] 李建宇, 史梦竹, 傅建炜, 等. 茶假眼小绿叶蝉的抗性监测及不同地区的敏感性差异 [J]. *福建农业学报*, 2015, 30 (10): 989-992.  
LI J Y, SHI M Z, FU J W, et al. Monitoring and regional differentiations on insecticide-resistance of *Empoasca vitis* [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 30 (10): 989-992. (in Chinese)
- [57] 李建宇, 史梦竹, 傅建炜, 等. 茶假眼小绿叶蝉抗联苯菊酯品系和敏感品系解毒酶活性及增效作用研究 [J]. *茶叶科学*, 2016, 36 (3): 323-329.  
LI J Y, SHI M Z, FU J W, et al. Activities of the detoxifying enzymes and synergism in the bifenthrin-resistant and susceptible strains of tea leafhopper, *Empoasca vitis* [J]. *Journal of Tea Science*, 2016, 36 (3): 323-329. (in Chinese)
- [58] WEI Q, YU H Y, NIU C D, et al. Comparison of insecticide susceptibilities of *Empoasca vitis* (Hemiptera: Cicadellidae) from three main tea-growing regions in China [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2015, 108 (3): 1251-1259.
- [59] WEI Q, MU X C, YU H Y, et al. Susceptibility of *Empoasca vitis* (Hemiptera: Cicadellidae) populations from the main tea-growing regions of China to thirteen insecticides [J]. *Crop Protection*, 2017, 96: 204-210.
- [60] 陈宗懋, 蔡晓明, 周利, 等. 中国茶园有害生物防控40年 [J]. *中国茶叶*, 2020, 42 (1): 1-8.  
CHEN Z M, CAI X M, ZHOU L, et al. Developments on tea plant pest control in past 40 years in China [J]. *China Tea*, 2020, 42 (1): 1-8. (in Chinese)

(责任编辑: 林海清)