

茶园间作功能植物对茶小绿叶蝉的调控作用

陈李林^{1*} 陈平¹ 王优^{1,2} 马旭¹ 林金科² 赵紫华³

(1. 福建农林大学应用生态研究所, 闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室, 福州 350002; 2. 福建农林大学安溪茶学院, 安溪 362406; 3. 中国农业大学植物保护学院昆虫学系, 北京 100193)

摘要: 为研究间作功能植物对茶园主要害虫茶小绿叶蝉的影响, 于2017—2018年在福建省泉州市安溪县茶园间作白三叶 *Trifolium repens* L.、金花菜 *Medicago hispida* Gaertn.、金盏菊 *Calendula officinalis* L., 以自然留养杂草茶园为对照, 用网捕法采集茶小绿叶蝉并于室内计数, 镜检剥查法调查其茶梢着卵量。结果表明, 在4种不同生境管理茶园网捕茶小绿叶蝉总个体数及每月个体数均无显著差异; 茶小绿叶蝉个体数分别在2017年8月与2018年6月达到高峰。茶梢各节间着卵量不同, 主要产卵在顶芽之下第2~5节间, 以第4节着卵量最多。间作金盏菊茶园茶小绿叶蝉在茶梢第1节着卵量显著高于间作白三叶和金花菜茶园。不同生境管理茶园茶小绿叶蝉在茶梢第4节着卵量从大到小依次为间作金盏菊(8.13)、间作金花菜(7.50)、自然留养杂草(7.17)和间作白三叶茶园(6.57)。不同时间段4种不同生境管理茶园茶小绿叶蝉在茶梢各节之间的着卵量存在差异, 且均在9月上中旬着卵量达到高峰。在茶园间作功能植物, 短期内未见其显著降低茶小绿叶蝉网捕量和茶梢着卵量的效应。

关键词: 间作; 绿肥; 生境管理; 茶小绿叶蝉; 着卵量

Cover crops mediate abundance and egg density of tea green leafhopper (Hemiptera: Cicadellidae) in a tea plantation

Chen Lilin^{1*} Chen Ping¹ Wang You^{1,2} Ma Xu¹ Lin Jinke² Zhao Zihua³

(1. State Key Laboratory of Ecological Pest Control for Fujian and Taiwan Crops, Institute of Applied Ecology, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, Fujian Province, China; 2. Anxi College of Tea Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Anxi 362406, Fujian Province, China; 3. Department of Entomology, College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: In order to investigate whether intercropping reduced the abundance and fecundity of tea green leafhopper (TGL) on tea shoots of Tieguanyin, a tea plantation at the Juyuan tea professional cooperative, Anxi, Quanzhou was intercropped separately with *Trifolium repens* L., *Medicago hispida* Gaertn., and *Calendula officinalis* L. Natural ground cover was used as a control treatment. Number of nymphs and adults, as well as eggs of TGL were dissected in a tea plantation and tea shoots from 2017 to 2018. The results showed that no significant difference could be found either in the total or the monthly abundances of TGL between intercropping treatments. The two peaks of TGL were in August 2017 and June 2018, respectively. The egg density of TGL laid at different positions of tea shoot were different: TGL mainly laid eggs in the second to fifth leaf internodes, with the most eggs in fourth leaf internode. The egg density of TGL laid in the first leaf internode in tea intercropped with *C. officinalis* was significantly higher than that in tea intercropped with *T. repens* or *M. hispida*. The egg densities of TGL

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFD0200900), 国家自然科学基金(31501650), 农业农村部资助项目—福建省安溪县现代农业产业园建设(农技发[2017]110号)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: llchen4414@sina.com

收稿日期: 2018-11-02

laid in the fourth leaf internode from high to low were in tea intercropped with *C. officinalis* (8.13), in tea intercropped with *M. hispida* (7.50), natural ground cover (7.17), and in tea intercropped with *T. repens* (6.57). The egg density of TGL in different leaf internodes of tea shoots was different in each sampling. Egg density of TGL showed one population peak, in early to mid-September. In conclusion, at least in a short-term, there was no obvious reduction in the abundance or in the egg density of TGL on the tea shoots in the intercropped treatments.

Key words: intercrop; ground cover; habitat management; tea green leafhopper; fecundity

茶树 *Camellia sinensis* Kuntze 隶属山茶科 Theaceae 山茶属 *Camellia*, 是多年生的木本常绿植物。随着茶叶经济效益的不断增加, 广大茶农开始改变栽培管理方式, 以大面积单一矮化条植、密植模式为主, 在这种栽培管理模式下, 茶园的生态环境趋于简单化, 导致许多病虫害发生频繁, 难以防控。茶树生长的各个部位, 如芽、叶、根、茎、花、果和幼苗都有可能遭受茶园害虫的为害(陈宗懋和陈雪芬, 1999)。茶园害虫茶小绿叶蝉主要包括小贯小绿叶蝉 *Empoasca onukii* Matsuda (施龙清等, 2014; Qin et al., 2015; 于晓飞等, 2015) 和假眼小绿叶蝉 *Empoasca vitis* (Göthe) (赵冬香等, 2000; 付建玉和韩宝瑜, 2005), 隶属半翅目 Hemiptera 头喙亚目 Auchenorrhyncha 叶蝉科 Cicadellidae, 其主要为害茶树的幼嫩芽叶。由于茶小绿叶蝉世代周期短, 发生代数多, 世代重叠严重, 繁殖能力强, 是我国茶园最主要也最难以防控的害虫之一。茶小绿叶蝉的生活史包括卵、若虫和成虫 3 个虫态, 雌成虫产卵于嫩梢组织内, 阻碍茶梢内部营养物质的运输, 成虫和若虫刺吸茶树嫩梢汁液, 消耗茶叶的养分与水分, 引起茶树产生芽叶蜷缩硬化(亦称缩叶病或卷叶病)和红褐枯焦(亦称黄萎病)等多种病症, 国内外学者把这种病症称之为“叶蝉烧”(Backus et al., 2005; Jin et al., 2012; Saha et al., 2012)。Backus et al. (2005) 把“叶蝉烧”定义为由叶蝉或飞虱取食为害引起的非接触传染性植物病害, 受害茶树的芽叶生长受阻或脱落, 严重时植株停止生长甚至死亡, 影响茶叶的产量和品质, 在我国可造成减产 10%~15%, 严重时减产 50% 以上(朱俊庆, 1999; Jin et al., 2012)。有关茶小绿叶蝉及其天敌种群生物学、生态学和防控的研究已取得了重要进展(朱俊庆, 1999; 李慧玲, 2008; 林金丽, 2010)。但自 20 世纪 80 年代以来, 对茶小绿叶蝉仍以化学防治为主, 甚至经常出现盲目用药和使用禁用农药的现象。长期大量不合理使用化学农药会产生严重的“3R”问题, 并给人类健康和环境安全带来威胁(陈宗懋和陈雪芬, 1999; Ye et al., 2014; 张余杰等, 2017)。因此茶树病虫害的绿色防控愈来愈受到

大家的广泛关注。目前主要通过修剪、台刈等措施抑制茶树芽叶害虫茶小绿叶蝉的生长, 利用生物源农药、植物源农药、天敌、色板、诱虫灯、信息素、次生代谢物质等绿色防控手段来防控茶小绿叶蝉(Pu et al., 2005; 王庆森等, 2013; Bian et al., 2014)。

在茶园间作不同的功能植物是茶园害虫生境管理和绿色防控的主要措施之一(赵紫华等, 2013; Zhao et al., 2016; Gurr et al., 2017)。绿肥植物属于功能植物, 可为茶树提供天然肥料, 增加茶园物种的多样性和天敌生物群落的丰度, 从而减少病虫害暴发, 使茶园达到自我调控(Ye et al., 2014; Gurr et al., 2017)。陈亦根(2002)通过在茶园间作长节耳草 *Hedyotis uncinella* Hook. & Arn., 发现间作茶园的生态系统比常规除草茶园的生态系统具有更丰富的生物多样性和更高的系统稳定性。宋同清等(2006)、彭晚霞等(2008)在亚热带丘陵幼龄茶园覆盖稻草与间作白三叶 *Trifolium repens* L., 通过目测法调查发现与清耕茶园相比, 间作白三叶茶园的天敌和害虫物种丰富度增加, 主要天敌蜘蛛目、膜翅目和鞘翅目的个体数量极显著提高, 主要害虫茶小绿叶蝉、茶尺蠖 *Ectropis oblique* Warren、茶蚜 *Toxoptera aurantii* (Boyer de Fonscolombe) 的个体数量极显著降低。李慧玲等(2016a)通过在茶园间作组合功能作物: 间作铺地木蓝 *Indigofera hendecaphylla* Jacq. 和罗顿豆 *Lotononis bainesii* Baker、铺地木蓝和猪屎豆 *Crotalaria pallida* Aiton、圆叶决明 *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene 和白三叶、平托花生 *Arachis pintoi* Krapov. & W. C. Greg. 和白三叶, 以常规除草茶园为对照, 发现间作铺地木蓝和猪屎豆茶园茶小绿叶蝉个体数显著低于常规除草茶园, 间作铺地木蓝和罗顿豆茶园、间作圆叶决明和白三叶茶园、间作平托花生和白三叶茶园的茶小绿叶蝉卵寄生蜂缨小蜂个体数显著高于常规除草茶园。

在茶园通过间作功能植物这种生境管理途径, 可以调节茶园生态系统服务功能, 增加茶园生物多样性, 优化茶园结构, 对调控茶园病虫害发生具有显著作用。本研究通过在茶园间作白三叶、金花菜

Medicago hispida Gaertn.、金盏菊 *Calendula officinalis* L. 这3种不同功能植物,以自然留养杂草茶园为对照,采用网捕法调查不同生境管理茶园对茶冠层茶小绿叶蝉数量的影响,茶梢剥查法调查不同生境管理茶园对茶小绿叶蝉产卵的影响,揭示茶园间作不同功能植物后茶小绿叶蝉在茶冠层种群数量和茶梢不同部位着卵量的变化,以期对茶园利用功能植物绿色防控茶小绿叶蝉和可持续生产提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料

试验地点:福建省安溪县龙涓乡举源生产合作社茶园,地处安溪县西南部丘陵山区,24°54'19"N, 117°48'37"E。茶园平均海拔800 m左右,年平均气温为16~18℃,年降水量约1 800 mm。选择集中连片的6年生单行条植铁观音茶园作为试验地,其生态环境和管理水平一致。铁观音茶树是无性系品种,起源于18世纪初期,是国家级良种,灌木型,树冠面大,树枝分张面大,分枝部位低,稀疏不齐;其叶面积属于中叶类,叶片水平状着生,叶形为椭圆形,叶缘渐尖,叶面隆起,叶色深绿,色泽油润,叶片肥厚,叶缘锯齿明显钝尖,侧脉明显(王振忠,2004)。

仪器:奥特体式显微镜,北京北科宏宇科技发展有限公司;捕虫网,直径38.1 cm,自制。

1.2 方法

1.2.1 试验小区设计

试验采用随机区组设计,设置5个区组为5个重复,每个区组设置3种功能植物:间作白三叶、金花菜和金盏菊,以自然留养杂草茶园为对照,共4种不同生境管理茶园。每种生境茶园面积为10 m×10 m,各生境茶园间设置隔离带,隔离带间隔约35 m。试验期间不喷施化学农药且所有农事操作均保持一致。

1.2.2 茶小绿叶蝉的调查方法

从2017年7月—2018年6月,用网捕法采集4种不同生境管理茶园茶冠层的茶小绿叶蝉。每月采集1次,每小区随机采集4个样点,每个样点网捕30网,采集1 m²茶丛上方及侧面飞翔的茶小绿叶蝉,用布袋收集,带回室内保存,镜检统计每小区(4 m²)茶小绿叶蝉的总个体数,分析不同生境管理茶园对茶小绿叶蝉个体数及其种群动态变化的影响。

于2017年8—10月采集不同生境管理茶园中的茶梢,采样日期分别为8月6日、9月5日、9月19日、9月25日、10月6日、10月20日,共计6次。每个小区随机采集4个样点,每个样点随机采集1 m²茶丛范围,东西南北中5个方位各取2个茶梢,共计10个

茶梢,每个小区共40个茶梢,置于密封袋中,带回室内,在体式显微镜下进行剥离茶梢嫩茎皮层,检查茶梢内茶小绿叶蝉的着卵量,记录并计算各梢顶芽及第1~9节的茶小绿叶蝉着卵量,分析不同生境管理茶园对茶小绿叶蝉着卵量及其动态变化的影响。

1.3 数据分析

试验数据采用SPSS 22.0软件进行统计分析,将4个样点采集的所有茶小绿叶蝉个体数求和后,或将采集的40个茶梢中剥查所得茶小绿叶蝉着卵量求和后,采用一般线性模型进行统计分析,用最小显著差数(LSD)法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同生境管理茶园茶小绿叶蝉的网捕量

2.1.1 对茶小绿叶蝉个体数的影响

在4种不同生境管理茶园中网捕的茶小绿叶蝉总个体数无显著差异($F_{3,12}=0.40, P=0.76$;图1),茶小绿叶蝉平均总个体数从大到小排序为:间作金花菜茶园>自然留养杂草对照茶园>间作白三叶茶园>间作金盏菊茶园,其平均总个体数分别为2.45、2.37、2.35和1.97头(图1)。

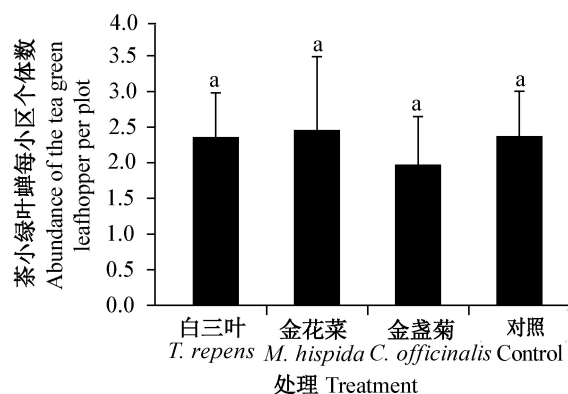


图1 不同间作植物茶园茶小绿叶蝉的总个体数

Fig. 1 Abundance of the tea green leafhopper against different treatments in four tea plantations

图中数据为平均数±标准误。柱上同一小写字母表示不同生境管理茶园间经LSD法检验在 $P<0.05$ 水平差异不显著。Data in the figure are mean±SE. The same letter on the bars indicate no significant difference among four tea plantations at $P<0.05$ level by LSD test.

2.1.2 茶小绿叶蝉个体数的时间动态

2017—2018年采样期间,4种不同生境管理茶园每个月网捕的茶小绿叶蝉个体数均无显著差异(表1)。茶小绿叶蝉网捕个体数主要存在2个高峰期,第1个高峰期在2017年8月,第2个高峰期在2018年6月(表1)。

表1 4种不同生境管理茶园茶小绿叶蝉个体数的时间动态

Table 1 Temporal dynamics of abundance of the tea green leafhopper against different treatments in four tea plantations

采样日期 Sampling date	间作白三叶 <i>T. repens</i>	间作金花菜 <i>M. hispida</i>	间作金盏菊 <i>C. officinalis</i>	自然留养杂草对照 CK
2017-07-09	3.00±1.38 a	1.60±0.81 a	3.60±1.44 a	4.00±2.14 a
2017-08-06	6.60±1.81 a	3.80±0.58 a	3.80±1.66 a	5.40±1.63 a
2017-09-05	0.40±0.24 a	1.20±0.58 a	0.80±0.37 a	0.20±0.20 a
2017-10-05	0.20±0.20 a	0.00±0.00 a	0.20±0.20 a	0.20±0.20 a
2017-11-04	0.00±0.00 a	0.20±0.20 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a
2017-12-09	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a
2018-01-13	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.20±0.20 a	0.00±0.00 a
2018-02-05	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a
2018-03-06	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a
2018-04-02	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.20±0.20 a
2018-05-04	2.40±1.12 a	1.20±0.58 a	1.20±0.58 a	3.20±1.32 a
2018-06-03	15.60±2.16 a	21.40±9.39 a	13.80±5.83 a	15.20±2.87 a

表中数据为平均数±标准误。同行相同小写字母表示不同生境管理茶园间经LSD法检验在 $P<0.05$ 水平差异不显著。Data in the table are mean±SE. Same letters in the same row indicate no significant difference among four tea plantations at $P<0.05$ level by LSD test.

2.2 不同生境管理茶园茶小绿叶蝉着卵量

2.2.1 在茶梢不同部位的着卵量

4种不同生境管理茶园茶小绿叶蝉主要产卵在茶梢的幼嫩部位,且茶梢各节之间存在着产卵量差异,其主要产卵在顶芽之下的第2~5节间,以第4节着卵量最多,顶芽及芽下第8、9节的着卵量很少(表2)。不同生境管理茶园茶小绿叶蝉在茶梢第4节着卵量大小排序为间作金盏菊茶园>间作金

花菜茶园>自然留养杂草对照茶园>间作白三叶茶园,4种生境管理茶园所对应的着卵量平均数依次为8.13、7.50、7.17和6.57粒。间作金盏菊茶园中剥查获得的茶小绿叶蝉在茶梢第1节着卵量显著高于在间作白三叶和金花菜茶园的着卵量($F_{3,12}=3.57$, $P=0.047$;表2);4种不同生境管理茶园茶梢顶芽、第2~9节及整梢剥查获得的茶小绿叶蝉着卵量无显著差异(表2)。

表2 4种不同生境管理茶园茶小绿叶蝉在茶梢不同部位的着卵量

Table 2 Egg densities of tea green leafhopper at different positions of tea shoot against different treatments in four tea plantations

部位 Site	间作白三叶 <i>T. repens</i>	间作金花菜 <i>M. hispida</i>	间作金盏菊 <i>C. officinalis</i>	自然留养杂草对照 CK
顶芽 Terminal bud	0.33±0.21 a	0.23±0.09 a	0.37±0.18 a	0.17±0.10 a
第1节 First leaf internode	1.60±0.32 b	1.50±0.41 b	2.83±0.68 a	2.30±0.53 ab
第2节 Second leaf internode	3.97±0.76 a	3.73±0.60 a	4.43±0.92 a	3.50±0.63 a
第3节 Third leaf internode	5.00±0.59 a	6.20±1.32 a	5.90±0.71 a	5.97±0.73 a
第4节 Fourth leaf internode	6.57±0.57 a	7.50±0.75 a	8.13±0.60 a	7.17±0.83 a
第5节 Fifth leaf internode	4.20±0.55 a	5.77±0.92 a	5.13±0.74 a	4.13±0.61 a
第6节 Sixth leaf internode	2.10±0.37 a	3.47±0.88 a	2.37±0.54 a	3.13±0.59 a
第7节 Seventh leaf internode	1.00±0.28 a	1.83±0.72 a	0.97±0.31 a	1.20±0.33 a
第8节 Eighth leaf internode	0.47±0.18 a	0.97±0.43 a	0.37±0.15 a	0.53±0.21 a
第9节 Ninth leaf internode	0.07±0.07 a	0.20±0.09 a	0.10±0.06 a	0.03±0.03 a
整梢 Tea shoot	25.30±2.21 a	31.40±4.06 a	30.60±3.46 a	28.13±3.28 a

表中数据为平均数±标准误。同行不同字母表示不同生境管理茶园间经LSD法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters in the same row indicate significant difference among four tea plantations at $P<0.05$ level by LSD test.

2.2.2 茶小绿叶蝉着卵量时间动态

于2017年8月6日、9月5日、9月19日、9月25日、10月6日、10月20日在4种不同生境管理茶园剥查获得的茶小绿叶蝉在茶梢顶芽,第1、3、4、7和8节及整梢着卵量无显著差异(图2)。茶小绿叶蝉于9月19日在茶梢顶芽和第7节着卵量达到高峰(图2-A、H),于8月6日在茶梢第1和9节着卵量达到高峰(图2-B、J),于8月6日和9月5日在茶梢第2节着卵量达到高峰(图2-C),于9月5日在茶梢第3、8节和整梢着卵量达到高峰(图2-D、I和K),于9月5日和10月6日在茶梢第4、5节着卵量达到高峰(图2-E和F),于9月5日在茶梢第6节着卵量达到高峰(图2-G)。

2017年10月6日,间作白三叶茶园剥查获得的茶小绿叶蝉在茶梢第2节着卵量显著高于间作金盏

菊、间作金花菜和自然留养杂草对照茶园($F_{3,12}=6.00, P=0.01$;图2-C)。2017年9月19日,间作金花菜茶园剥查获得的茶小绿叶蝉在茶梢第5节着卵量显著高于间作白三叶和自然留养杂草对照茶园($F_{3,12}=3.50, P=0.05$;图2-F)。2017年9月19日,间作金花菜茶园剥查获得的茶小绿叶蝉在茶梢第6节着卵量显著高于其它3种生境茶园($F_{3,12}=6.58, P=0.01$;图2-G)。2017年9月25日,间作白三叶茶园剥查获得的茶小绿叶蝉在茶梢第6节着卵量显著高于间作金花菜和自然留养杂草对照茶园($F_{3,12}=4.00, P=0.04$;图2-G)。2017年8月6日,间作金花菜茶园剥查获得的茶小绿叶蝉在茶梢第9节着卵量显著高于间作白三叶和自然留养杂草对照茶园($F_{3,12}=3.58, P=0.05$;图2-J)。

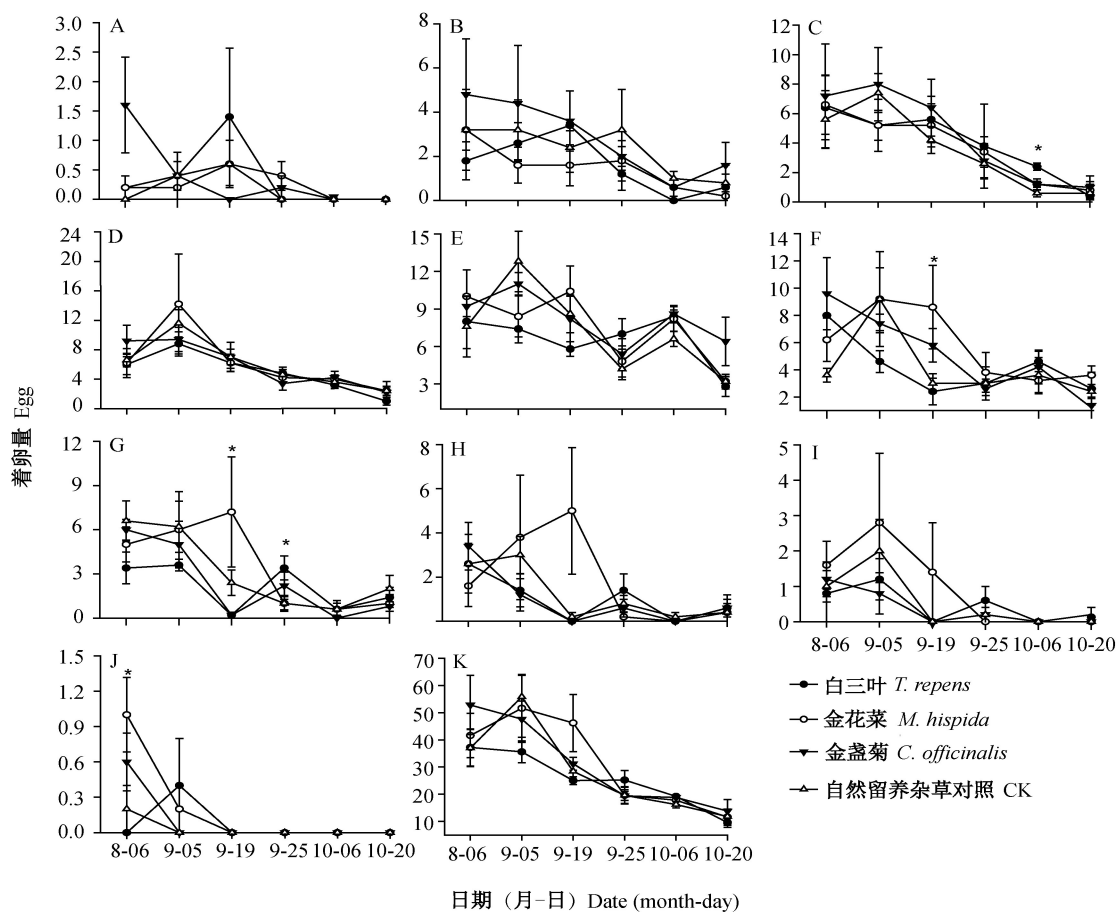


图2 2017年4种不同生境管理茶园茶小绿叶蝉在茶梢不同部位着卵量的时间动态

Fig. 2 Temporal dynamics of the egg density of tea green leafhopper at different position of tea shoot against different treatments in four tea plantations in 2017

A: 顶芽; B-J: 第1~9节; K: 整梢。图中数据为平均数±标准误。*表示同时间点不同生境管理茶园间经LSD法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。A: Terminal bud; B-J: 1st~9th leaf internode; K: tea shoot. Data in the figure are mean±SE. * indicate significant difference among different tea plantations at the same date at $P<0.05$ level by LSD test.

3 讨论

彭晚霞等(2008)、李慧玲等(2016a)和张正群等(2016)研究发现间作白三叶茶园、间作铺地木蓝和猪屎豆茶园、间作罗勒 *Ocimum basilicum* L. 茶园的茶小绿叶蝉个体数显著低于对照茶园;而江道检等(2014)研究发现对照茶园茶小绿叶蝉个体数显著低于间作白三叶和间作印度豇豆 *Vigna sesquipedalis* (L.) 茶园;叶火香等(2010)研究也发现对照茶园茶小绿叶蝉的个体数显著低于间作乌牛早-吊瓜 *Kigelia africana* (Lam.) Benth. 茶园、间作乌牛早-柑橘 *Citrus reticulata* Blanco 茶园和间作安吉白茶-吊瓜茶园,均与本研究发现4种不同生境管理茶园网捕的茶小绿叶蝉总个体数均无显著差异的结论不一致。这可能是由于生产对照茶园进行正常农事操作,施用化学农药造成茶小绿叶蝉种群数量显著减少(江道检等,2014);或由于茶小绿叶蝉嗜食吊瓜的叶片和嫩茎引起其在间作茶园增加种群数量(叶火香等,2010)。本研究结果显示,2017年7月—2018年6月网捕的茶小绿叶蝉总个体数主要在2017年8月与2018年6月达到高峰;而李慧玲等(2016a)则研究发现5种茶园茶小绿叶蝉个体数发生动态基本一致,均在6月上旬和10月中旬分别达到高峰;江道检等(2014)认为茶小绿叶蝉个体数在7月底与10月底—11月分别达到高峰。产生这种差异的原因可能是因为试验点茶园秋茶采摘导致茶小绿叶蝉在10月左右未再次出现高峰。

间作功能植物通过对茶小绿叶蝉的种群数量产生直接或间接的影响,进一步对其在茶梢上的着卵量产生作用。本研究发现,间作金盏菊茶园茶小绿叶蝉在茶梢第1节着卵量显著高于间作白三叶和金花菜茶园的,其原因可能是间作金盏菊茶园微生境比其它茶园更好,更适合节肢动物生存。前人研究发现,间作功能植物对茶园天敌和害虫都会产生影响(宋同清等,2006;李慧玲等,2016a;b)。杨帆等(2017)认为,金盏菊作为菊科植物,对害虫具有忌避作用,同时可以为天敌群落提供蜜源、庇护所、替代猎物等,起到吸引和增殖天敌作用。虽然茶小绿叶蝉着卵量提高,但由于没有茶小绿叶蝉的天敌数据支撑,如寄生蜂(包括卵寄生蜂)、蜘蛛、草蛉、瓢虫等,今后需要对其开展更深入研究,从而客观判断金盏菊是否适合作为茶园功能植物。

本试验结果显示,在4种不同生境管理茶园中,茶小绿叶蝉卵都产在茶梢幼嫩部位,茶梢各节间着

卵量不同,主要产卵在顶芽之下的第2~5节间,以第4节着卵量最多,顶芽及芽下第8、9节的着卵量很少。林金丽(2010)调查分析了西湖龙井茶梢顶芽及第1~5节上茶小绿叶蝉的卵量分布,发现主要产卵在第2~5节间,以第4节着卵量最多,与本研究结果相似。本研究发现在4种不同生境管理茶园中,茶梢整梢上茶小绿叶蝉着卵量不存在显著差异,而江道检等(2014)在调查期间发现,生产茶园茶梢内的茶小绿叶蝉着卵量均低于间作白三叶和间作印度豇豆茶园,这可能是由于施用化学农药的生产茶园造成茶小绿叶蝉种群数量大幅减少,从而导致茶小绿叶蝉雌成虫在生产茶园茶梢上产卵减少。

不同时间段不同生境管理茶园茶小绿叶蝉在茶梢各节之间的着卵量存在不同。2017年8月6日、9月19日、9月25日和10月6日,不同生境管理茶园茶小绿叶蝉在茶梢第2、5、6和9节着卵量存在显著差异,其原因可能是由于间作的功能植物通过对茶园土壤、茶树微气候的影响,从而间接影响茶梢的内容物组成(宋同清等,2006;Muscas et al., 2017);也可能是因为间作的功能植物挥发物对茶小绿叶蝉产生引诱或趋避作用,从而导致茶小绿叶蝉产生不同的选择行为(江丽容等,2010;谷明和林乃铨,2011;Zhang & Chen, 2015),进而影响茶小绿叶蝉在不同生境管理茶园中茶梢的着卵量。同时,还可能由于间作的功能植物开花生长期存在时间差。不同功能植物在开花生长期之间存在差异,建议在茶园选择功能植物方面可以搭配使用不同生长周期的功能植物,使生长周期、开花时间等节点保持多样化。本试验结果表明,9月上中旬茶小绿叶蝉在茶梢的着卵量达到高峰,与高明清(2007)和李慧玲(2008)在铁观音茶梢镜检剥卵的结果一致,但江道检等(2014)研究发现,3种不同生境管理茶园中茶小绿叶蝉在茶梢的着卵量均在11月初达到高峰。产生这种差异的原因可能是本研究选取试验点自9月7日起全园进行了秋茶的采摘与修剪,带走大量的虫卵和虫源,导致后续采梢剥查获得的茶小绿叶蝉着卵量降低。

在本试验中,由于取样方式较为单一,只是对不同生境管理茶园茶小绿叶蝉进行网捕并对其茶梢着卵量镜检剥查,今后可以结合百叶虫口数、百梢虫口数、盆拍法、吸虫器法、色板法、信息素诱捕法等不同方法进行综合调查取样,除了调查茶小绿叶蝉成、若虫及着卵量,同时也应该关注间作功能植物对茶园茶小绿叶蝉捕食性天敌、寄生性天敌(包括卵寄生

蜂)、植食性昆虫、腐食性昆虫和杂食性昆虫的组成和结构及多样性的影响,关注它们对茶园间作功能植物的响应机理及机制,还可以关注间作功能植物对茶园土壤、微气候、景观生态、茶叶产量和品质的调控效应。本试验主要针对福建省安溪县铁观音秋茶采摘时期(第2个产卵高峰期)开展间作功能植物对茶小绿叶蝉着卵量影响的研究,试验开展时间偏短,建议今后可延长试验周期,研究如何通过改善茶园生态系统来更好地发挥保益控害生态系统服务功能,尤其是间作功能作物对“茶树—茶小绿叶蝉—天敌”三级营养关系的影响研究更待深入开展。

参 考 文 献 (References)

- Backus EA, Serrano MS, Ranger CM. 2005. Mechanisms of hopper-burn: an overview of insect taxonomy, behavior, and physiology. *Annual Review of Entomology*, 50(1): 125–151
- Bian L, Sun XL, Luo ZX, Zhang ZQ, Chen ZM. 2014. Design and selection of trap color for capture of the tea leafhopper, *Empoasca vitis*, by orthogonal optimization. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 151(3): 247–258
- Chen YG. 2002. Study on diversity retaining of arthropod and sustainable controlling of insect pests in tea orchards. Master Thesis. Guangzhou: South China Agricultural University (in Chinese) [陈亦根. 2002. 茶园节肢动物类群多样性恢复和害虫持续控制. 硕士学位论文. 广州: 华南农业大学]
- Chen ZM, Chen XF. 1999. Plant protection in the sustainable development of tea industry. *Journal of Tea Science*, 19(1): 1–6 (in Chinese) [陈宗懋, 陈雪芬. 1999. 茶叶可持续发展中的植保问题. 茶叶科学, 19(1): 1–6]
- Fu JY, Han BY. 2005. A molecular analysis on genetic relationships among individuals of tea leafhopper. *Bulletin of Science and Technology*, 21(5): 549–556 (in Chinese) [付建玉, 韩宝瑜. 2005. 茶小绿叶蝉优势种的归属的分子依据. 科技通报, 21(5): 549–556]
- Gao MQ. 2007. Studies on the small green leafhopper, *Empoasca vitis* (Göthe), and its egg parasitoids in Fujian tea plantations. Master Thesis. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University (in Chinese) [高明清. 2007. 假眼小绿叶蝉及其卵寄生蜂调查观察. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学]
- Gu M, Lin NQ. 2011. Behavioral response of small green leafhopper to volatiles from different green manures. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 40(3): 242–245 (in Chinese) [谷明, 林乃铨. 2011. 假眼小绿叶蝉对不同绿肥挥发性物质的行为反应. 福建农林大学学报(自然科学版), 40(3): 242–245]
- Gurr GM, Wratten SD, Landis DA, You MS. 2017. Habitat management to suppress pest populations: progress and prospects. *Annual Review of Entomology*, 62(1): 91–109
- Jiang DJ, Xu LY, Cheng ZP. 2014. Effects of green manure intercropping on parasitoids and *Empoasca vitis* (Göthe) in tea plantations. *Wuyi Science Journal*, 30(1): 154–161 (in Chinese) [江道检, 许丽艳, 程章平. 2014. 间作绿肥对茶园寄生蜂和假眼小绿叶蝉的影响. 武夷科学, 30(1): 154–161]
- Jiang LR, Liu SA, Han BY, Ouyang LM. 2010. Effect of odours from seven species of host and non-host plants on the adult behaviour of the tea geometrid, *Ectropis obliqua* (Prout). *Acta Ecologica Sinica*, 30(18): 4993–5000 (in Chinese) [江丽容, 刘守安, 韩宝瑜, 欧阳立明. 2010. 7种寄主和非寄主植物气味对茶尺蠖成虫行为的调控效应. 生态学报, 30(18): 4993–5000]
- Jin S, Chen ZM, Backus EA, Sun XL, Xiao B. 2012. Characterization of EPG waveforms for the tea green leafhopper, *Empoasca vitis* Göthe (Hemiptera: Cicadellidae), on tea plants and their correlation with stylet activities. *Journal of Insect Physiology*, 58(9): 1235–1244
- Li HL. 2008. Studies on the bionomics of small green leafhopper and its egg parasitoids. Master Thesis. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University (in Chinese) [李慧玲. 2008. 假眼小绿叶蝉及其卵寄生蜂的生物学、生态学研究. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学]
- Li HL, Guo JX, Zhang H, Wang DF, Wang QS, Zeng MS, Lin NQ, Wu GY. 2016b. The effects of intercropping different green manure plants on the structure and diversity of arthropod communities in tea plantations. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(3): 545–553 (in Chinese) [李慧玲, 郭剑雄, 张辉, 王定锋, 王庆森, 曾明森, 林乃铨, 吴光远. 2016b. 茶园间作不同绿肥对节肢动物群落结构和多样性的影响. 应用昆虫学报, 53(3): 545–553]
- Li HL, Lin NQ, Guo JX, Wang SJ, Wang QS, Zeng MS, Wu GY. 2016a. Effects on small green leafhopper and its natural enemy mymarid in tea plantations with intercropping of green manure plants. *Chinese Journal of Biological Control*, 32(1): 50–54 (in Chinese) [李慧玲, 林乃铨, 郭剑雄, 王水金, 王庆森, 曾明森, 吴光远. 2016a. 茶园间作绿肥对假眼小绿叶蝉及其天敌缨小蜂的影响. 中国生物防治学报, 32(1): 50–54]
- Lin JL. 2010. Studies on chemical and color communication mechanisms among tea and tea green leafhopper and mymarid. Master Thesis. Yangzhou: Yangzhou University (in Chinese) [林金丽. 2010. 茶树—假眼小绿叶蝉—缨小蜂间化学和色彩通讯机理研究. 硕士学位论文. 扬州: 扬州大学]
- Muscas E, Cocco A, Mercenaro L, Cabras M, Lentini A, Porqueddu C, Nieddu G. 2017. Effects of vineyard floor cover crops on grapevine vigor, yield, and fruit quality, and the development of the vine mealybug under a Mediterranean climate. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 237: 203–212
- Peng WX, Song TQ, Zou DS, Wang KL, Zeng FP, Xiao KC, Xiao RL. 2008. Integrative ecological effects of straw mulching and intercropping with white clover in young tea plantation in subtropical hilly region. *Scientia Agricultura Sinica*, 41(8): 2370–2378 (in Chinese) [彭晚霞, 宋同清, 邹冬生, 王克林, 曾履平, 肖孔操, 肖润林. 2008. 覆盖与间作对亚热带丘陵茶园生态的综合调控效果. 中国农业科学, 41(8): 2370–2378]
- Pu XY, Feng MG, Shi CH. 2005. Impact of three application methods on the field efficacy of a *Beauveria bassiana*-based mycoinsecticide against the false-eye leafhopper, *Empoasca vitis* (Homoptera: Cicadellidae) in the tea canopy. *Crop Protection*, 24(2): 167–175

- Qin DZ, Zhang L, Xiao Q, Dietrich C, Matsumura M. 2015. Clarification of the identity of the tea green leafhopper based on morphological comparison between Chinese and Japanese specimens. *PLoS ONE*, 10(9): e0139202
- Saha D, Mukhopadhyay A, Bahadur M. 2012. Genetic diversity of *Empoasca flavescens* Fabricius (Homoptera: Cicadellidae), an emerging pest of tea from sub-Himalayan plantations of West Bengal, India. *Proceedings of the Zoological Society*, 65(2): 126–131
- Shi LQ, Lin MZ, Chen LL, Lin MQ, Vasseur L, You MS. 2014. Changing the specific name of tea green leafhoppers in major tea plantations in Fujian Province, China. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 43(5): 456–459 (in Chinese) [施龙清, 林美珍, 陈李林, 林美强, Vasseur L, 尤民生. 2014. 福建主要茶区茶小绿叶蝉种名的存疑与鉴别. 福建农林大学学报(自然科学版), 43(5): 456–459]
- Song TQ, Wang KL, Peng WX, Wang JR, Xiao RL, Zeng FP, Tang Y. 2006. Ecological effects of intercropping white clover on tea plantation in a subtropical hilly region. *Acta Ecologica Sinica*, 26(11): 3647–3655 (in Chinese) [宋同清, 王克林, 彭晚霞, 王久荣, 肖润林, 曾馥平, 汤宇. 2006. 亚热带丘陵茶园间作白三叶草的生态效应. 生态学报, 26(11): 3647–3655]
- Wang QS, Wang DF, Wu GY. 2013. Research advances on *Empoasca vitis* (Göthe) in tea trees in China. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 28(6): 615–623 (in Chinese) [王庆森, 王定锋, 吴光远. 2013. 我国茶树假眼小绿叶蝉研究进展. 福建农业学报, 28(6): 615–623]
- Wang ZZ. 2004. Introduction of Anxi Tieguanyin. *Tea Science and Technology*, (4): 28–30 (in Chinese) [王振忠. 2004. 安溪铁观音简介. 茶叶科学技术, (4): 28–30]
- Yang F, Wang S, Zhang JM, Zhang F, Tan XL, Yi TY. 2017. Olfactory influences and filed attractions of enhancing plant and herbivore induced defense volatiles to predacious flower bug *Orius sauteri* (Hemiptera: Anthocoridae) and parasitoid wasp *Encarsia sophia* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Journal of Environmental Entomology*, 39(6): 1250–1257 (in Chinese) [杨帆, 王甦, 张君明, 张帆, 谭晓玲, 易图永. 2017. 增殖植物和植物诱导抗性挥发物质对东亚小花蝽和浅黄恩蚜小蜂的嗅觉行为影响及田间诱集作用. 环境昆虫学报, 39(6): 1250–1257]
- Ye GY, Xiao Q, Chen M, Chen XX, Yuan ZJ, Stanley DW, Hu C. 2014. Tea: biological control of insect and mite pests in China. *Biological Control*, 68: 73–91
- Ye HX, Cui L, He XM, Han BY. 2010. Effect of intercropping tea with citrus, waxberry, or snake gourd on population density and spatial distribution of the tea green leafhopper and araneids. *Acta Ecologica Sinica*, 30(22): 6019–6026 (in Chinese) [叶火香, 崔林, 何迅民, 韩宝瑜. 2010. 茶园间作柑桔杨梅或吊瓜对叶蝉及蜘蛛类群数量和空间格局的影响. 生态学报, 30(22): 6019–6026]
- Yu XF, Meng ZH, Yang MF, Zhou YF, Han C, Zou X. 2015. Investigation and taxonomic revision of green tea leafhopper species of Guizhou and other provinces in South China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(5): 1277–1287 (in Chinese) [于晓飞, 孟泽洪, 杨茂发, 周玉锋, 韩畅, 邹晓. 2015. 贵州及南方其他部分省区茶树小绿叶蝉种类调查与考订. 应用昆虫学报, 52(5): 1277–1287]
- Zhang YJ, Chen WL, Yang L, Chen XS. 2017. Pesticides in chemical control and resistance development of *Empoasca onukii*. *Agrochemicals*, 56(4): 239–245 (in Chinese) [张余杰, 陈文龙, 杨琳, 陈祥盛. 2017. 小贯小绿叶蝉的化防农药及其抗药性发展状况. 农药, 56(4): 239–245]
- Zhang ZQ, Chen ZM. 2015. Non-host plant essential oil volatiles with potential for a ‘push-pull’ strategy to control the tea green leafhopper, *Empoasca vitis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 156(1): 77–87
- Zhang ZQ, Tian YY, Gao SW, Xu YY, Huang XQ, Zhang LX. 2016. Ecological effects of intercropping tea with aromatic plant basil and perill in young tea plantation. *Journal of Tea Science*, 36(4): 389–395 (in Chinese) [张正群, 田月月, 高树文, 许永玉, 黄晓琴, 张丽霞. 2016. 茶园间作芳香植物罗勒和紫苏对茶园生态系统影响的研究. 茶叶科学, 36(4): 389–395]
- Zhao DX, Chen ZM, Cheng JA. 2000. Belongingness of tea leafhopper dominant species. *Journal of Tea Science*, 20(2): 101–104 (in Chinese) [赵冬香, 陈宗懋, 程家安. 2000. 茶小绿叶蝉优势种的归属. 茶叶科学, 20(2): 101–104]
- Zhao ZH, Ouyang F, Men XY, Liu JH, He DH, Ge F. 2013. Habitat management in biological control. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(4): 879–889 (in Chinese) [赵紫华, 欧阳芳, 门兴元, 刘军和, 贺达汉, 戈锋. 2013. 生境管理——保护性生物防治的发展方向. 应用昆虫学报, 50(4): 879–889]
- Zhao ZH, Reddy GVP, Hui C, Li BL. 2016. Approaches and mechanisms for ecologically based pest management across multiple scales. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 230: 199–209
- Zhu JQ. 1999. Tea pests. Beijing: China Agriculture Press, pp. 96–104 (in Chinese) [朱俊庆. 1999. 茶树害虫. 北京: 中国农业出版社, pp. 96–104]

(责任编辑:王璇)