

LED 风吸式杀虫灯对有效范围内茶小绿叶蝉虫口动态的影响

边磊 蔡晓明 陈宗懋*

(中国农业科学院茶叶研究所, 农业部茶树生物学与资源利用重点实验室, 杭州 310008)

摘要: 为明确 LED 风吸式杀虫灯对茶小绿叶蝉 *Empoasca onukii* 的防治效果, 室内测定诱虫光源对茶小绿叶蝉卵和若虫生长的影响, 温室内测定不同灯高和不同灯距组合下杀虫灯诱捕的茶小绿叶蝉数量, 并计算杀虫灯对茶小绿叶蝉成虫的有效控制范围、诱杀中距离、诱杀黄金距离, 并通过 2 年田间试验比较杀虫灯有效控制范围内不同灯距处、有效控制范围外茶小绿叶蝉成虫数量。结果显示: 诱虫光源对茶小绿叶蝉卵和若虫的生长无显著影响, 若虫生长历期为 18.5 d, 存活率为 46.85%。随着灯距和灯高的增加杀虫灯对茶小绿叶蝉的诱捕量下降, 灯高 20~40 cm 时, 杀虫灯对茶小绿叶蝉的平均有效控制范围、平均诱杀中距离和平均诱杀黄金距离分别为 58.17、30.41 和 23.86 m。茶园内灯距 5 m 处, 茶小绿叶蝉成虫数量率先达到 5 个灯距中的最大值, 不同灯距下茶小绿叶蝉成虫数量随时间推移而呈现出显著差异, 虫口峰期时灯距 25 m 内的茶小绿叶蝉成虫数量为灯距 120 m 处的 49.5%~64.4%。表明 LED 风吸式杀虫灯可通过诱杀茶小绿叶蝉成虫显著抑制其诱杀黄金距离内茶小绿叶蝉的成虫数量。

关键词: 茶小绿叶蝉; LED 杀虫灯; 风吸式; 有效控制范围; 虫口动态

Effects of light-emitting diode light traps with a suction fan on the population dynamics of the tea leafhopper *Empoasca onukii* (Hemiptera: Cicadellidae) within the effective distance

Bian Lei Cai Xiaoming Chen Zongmao*

(Key Laboratory of Tea Biology and Resource Utilization of Ministry of Agriculture; Research Institute of Tea, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310008, Zhejiang Province, China)

Abstract: To clarify the control efficacy of light-emitting diode light traps with the suction fan on the tea leafhopper *Empoasca onukii*, the influence of light source on the indoor growth of leafhopper eggs and nymphs, and the effects of lamp height and distance on the adult capture were studied; meanwhile, the effective insect-killing, median trapping and golden trapping distances of the light trap were calculated, and then the dynamics of adult population in different lamp distances were compared between within and beyond the effective insect-killing distance by field experiments. The results showed that the developmental duration and survivor rate of *E. onukii* from egg to adult was 18.50 d and 46.85%, respectively, which had no significant difference from the negative control. The adult capture would decrease when the lamp height and distance increased. As the lamp height was within 20–40 cm, the mean effective insect-killing distance, median trapping distance, and golden trapping distance were 58.17, 30.41, and 23.86 m, respectively. In the field, the adult population of *E. onukii* in 5 m lamp distance first

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFD0200900), 中央级科研院所基本科研业务费专项(1610212016011), 浙江省自然科学基金(LQ17C040002)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: zmchen2006@163.com

收稿日期: 2018-05-18

reached the maximum compared with those in other lamp distances. The adult populations in different lamp distances showed significant differences with the passage of time. During the population peaks, the adult population within 25 m lamp distance was only 49.5%–64.4% of that in 120 m lamp distance, which indicated that the light-emitting diode light trap equipped with the suction fan could significantly reduce the population of *E. onukii* within golden trapping distance by adult trapping.

Key words: *Empoasca onukii*; LED light trap; suction fan equipment; capable insect-killing distance; population dynamic

茶小绿叶蝉 *Empoasca onukii* 是为害茶树的重害虫,广泛分布于我国各大茶区(Bian et al., 2014; 郑雨婷等, 2017)。茶小绿叶蝉成虫趋光,因此在茶园中常采用杀虫灯对其进行防控(刘红敏等, 2012; Li & Pan, 2016)。近年茶园杀虫灯技术不断改进,尤其是采用LED精准光源和风吸式杀虫设备后(边磊等, 2016),杀虫灯对茶小绿叶蝉的诱杀效果明显,并在茶园大面积应用,但改进后的LED风吸式杀虫灯对茶小绿叶蝉的控制能力尚不明确。

杀虫灯主要是利用夜行性、弱光性昆虫对光的趋性,直接对其成虫进行诱杀。长期以来,杀虫灯的效果评估主要集中在诱捕昆虫的数量和种类上,诱虫光源对目标害虫的间接作用却被忽视。人造光源通过改变光周期间接影响昆虫的生长发育和繁殖能力,如莲草直胸跳甲 *Agasicles hygrophila* 生长发育和繁殖的最适光周期为 12 L: 12 D,其它光周期下化蛹历期显著延长,成虫寿命缩短(王苑馨等, 2016); 国槐尺蠖 *Semiothisa cinerearia* 幼虫的发育历期会随光期增加而逐渐缩短,光周期为 16 L: 8 D 时发育历期最短,在 8~14 h 光期内越冬蛹发育历期随光照增加而延长,但超过 14 h 后会随光期增加而缩短(柳丽婷等, 2010)。田间设置杀虫灯可能通过改变害虫的光周期间接影响害虫的生长发育和对作物的为害程度,所以杀虫灯效果评估也应考虑诱虫光源对目标害虫的间接影响。持续光照会减弱茶小绿叶蝉成虫的活动性(Shi et al., 2017),蓝光照射能降低茶小绿叶蝉卵的孵化量(陈伟忠等, 2016),但光照对茶小绿叶蝉若虫生长发育的影响未见报道。杀虫灯对防治目标的影响和诱杀与距离杀虫灯的远近呈显著相关,如光源辐照波长为 340 nm、8 W 杀虫灯对蜀柏毒蛾 *Parocneria orientalis* 具有显著的诱杀效果,在距灯 120 m 内毒蛾诱集率可达 87.1%,但距灯超过 180 m 后诱集效果消失(周建华等, 2013)。在稻田中使用双波诱虫灯,距灯 20~50 m 处稻螟蛉 *Naranga aeneascens* 的成虫数量显著低于灯距 80~150 m 处,随着灯距的减小,稻田内稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis me-*

dinalis 的虫量会显著降低(冯成玉和刘立春, 2014)。此外,杀虫灯对不同昆虫的诱杀能力差异很大(Bian et al., 2018a),其效果评估还应考虑诱虫光源对目标害虫的有效范围。

为科学评价杀虫灯对茶园茶小绿叶蝉的防治效果,并确定是否需要采取其它的辅助防治措施,本研究拟于室内测定诱虫光源对茶小绿叶蝉卵和若虫生长的影响,于温室内测定不同灯高和不同灯距组合下杀虫灯诱捕的茶小绿叶蝉数量,并计算杀虫灯对茶小绿叶蝉成虫的有效控制范围、诱杀中距离、诱杀黄金距离,并通过 2 年田间试验比较杀虫灯有效范围内不同灯距处、有效范围外茶小绿叶蝉成虫数量,明确 LED 风吸式杀虫灯对有效范围内茶园茶小绿叶蝉虫口动态的影响,以期对评价 LED 风吸式杀虫灯对茶园茶小绿叶蝉的防治效果和提升茶树害虫的综合防治技术提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试植物和虫源:自 3 龄龙井 43 茶树上采集无病虫害、10~12 cm 长的幼嫩茶枝。于浙江杭州梅家坞茶区(30.18°N, 120.09°E)内捕获茶小绿叶蝉,带回室内,用采集的幼嫩茶枝饲喂,于温度 25±2℃、相对湿度(70±3)%、光周期 14 L: 10 D 下饲养。

仪器:TPSC5Z 型 LED 风吸式杀虫灯,浙江托普云农科技股份有限公司,诱虫光源辐照波长为 385 nm 和 420 nm,有效带宽 10 nm,功率 10 W; 20 cm×25 cm 黄色粘虫板,漳州市英格尔农业科技有限公司; 20 cm×20 cm 亚克力养虫笼,由透明亚克力板制成,单侧面用纱网封闭便于通风换气; 30 cm×35 cm 白色粘虫板,北京中捷四方生物科技有限公司。

1.2 方法

1.2.1 诱虫光源对茶小绿叶蝉卵和若虫生长的影响

将 30 对羽化 1~2 d 茶小绿叶蝉成虫放入亚克力养虫笼中,室内用幼嫩茶枝饲喂,于温度 25±2℃,相对湿度(70±3)%,光周期 14 L: 10 D 下饲养,待其产

卵结束后将成虫全部取出,使用TPSC5Z型LED风吸式杀虫灯的诱虫光源照射产有茶小绿叶蝉卵的幼嫩茶枝,每天18:00—次日06:00光源自动开启,06:00—18:00光源自动关闭,以无诱虫光源照射的产卵幼嫩茶枝为空白对照组,参考金珊等(2012)方法,每天08:00—10:00、18:00—20:00记录茶小绿叶蝉若虫的数量和龄期,计算茶小绿叶蝉卵、若虫生长历期和存活率。处理组和对照组各设4个重复。

1.2.2 灯高和灯距对茶小绿叶蝉成虫诱捕量的影响

于2016年5—10月在位于浙江省杭州市的中国农业科学院茶叶研究所连栋温室内进行试验,试验单元宽2.5 m,长70 m,温室内种有3龄龙井43茶树,茶树间距30 cm,均匀摆放,生长一致且无虫害为害。为明确诱虫光源和茶树棚面之间的垂直距离(简称灯高)以及茶小绿叶蝉放飞点和诱虫光源之间的水平距离(简称灯距)对灯内茶小绿叶蝉成虫诱捕量的影响,本试验设置20、30、40 cm三个灯高水平,和10、20、30、40、50和60 m六个灯距水平,每个灯高和灯距组合为1个试验处理,在温室内一侧按照选定的处理灯高和灯距组合悬挂1台LED风吸式杀虫灯,杀虫灯风扇下10 cm处铺1张白色粘虫板,茶小绿叶蝉成虫在茶树棚面放飞,在第1天18:00时放飞茶小绿叶蝉成虫25对,第2~4天08:00统计白色粘虫板上茶小绿叶蝉的数量并求和,总数即为该灯高和灯距组合下杀虫灯诱杀的茶小绿叶蝉成虫数量,待粘虫板上茶小绿叶蝉数量无增加后再进行下一个灯高和灯距的组合试验,每个处理试验重复3次。

参考季香云等(2011)方法确定杀虫灯对茶小绿叶蝉的有效控制范围。以不同灯高和不同灯距组合下杀虫灯诱杀的茶小绿叶蝉成虫数量占放飞总量的比例为自变量 x 、以灯距为因变量 y 进行线性回归分析,并根据回归方程计算LED风吸式杀虫灯对茶小绿叶蝉成虫的有效控制范围、诱杀中距离和诱杀黄金距离,即当 x 分别为0、50%和61.8%时的灯距。

1.2.3 杀虫灯对茶小绿叶蝉成虫数量的影响

于浙江省杭州市西湖区(30.18°N, 120.09°E)进行田间试验,茶园品种为龙井43,高1.2 m,行间距0.5 m,长势整齐。试验时间为2016年和2017年8月底—11月初,此时正是茶小绿叶蝉的第2个高峰期(李红莉等,2017)。试验期间茶园未进行虫害防治,茶园内存有1盏LED风吸式杀虫灯诱杀茶小绿叶蝉。依据1.2.2试验结果,灯距小于25 m属于杀虫灯对茶小绿叶蝉的有效控制范围,大于120 m超出

有效控制距离。为明确杀虫灯对有效控制范围内不同灯距处茶小绿叶蝉成虫数量的影响,在水平距离杀虫灯5、10、15、20、25 m处设置虫口调查点,相同灯距的调查点各重复4次,在水平距离杀虫灯120 m处随机设置5个调查点作为空白对照,所有调查点间距6 m以上,采用黄色粘虫板调查该区域内茶小绿叶蝉成虫数量(Bian et al., 2018b),粘虫板每悬挂24 h后取下并统计粘虫板上茶小绿叶蝉成虫的数量,每隔3~4 d悬挂1次粘虫板调查1次。对比有效控制范围内5个不同灯距处茶小绿叶蝉成虫数量的变化,分析杀虫灯对其有效控制范围内不同灯距处茶小绿叶蝉数量的影响,将有效控制范围内25个调查点的茶小绿叶蝉成虫数量和有效控制范围外5个调查点的茶小绿叶蝉成虫数量作对比,分析杀虫灯对有效控制范围内、外茶小绿叶蝉成虫数量的影响。

1.3 数据分析

采用软件SPSS 19.0进行数据统计,茶小绿叶蝉卵、若虫各生长历期、存活率,杀虫灯有效控制范围内与有效控制范围外茶小绿叶蝉成虫数量采用 t 检验法进行差异显著性检验;相同灯距下不同灯高茶小绿叶蝉诱杀量、杀虫灯灯距25 m内的5个不同灯距处茶小绿叶蝉成虫数量之间采用LSD法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 诱虫光源对茶小绿叶蝉卵和若虫生长的影响

在LED光源的照射下,茶小绿叶蝉卵期、1龄、2龄、3龄、4龄、5龄幼虫历期分别为8.13、3.75、2.38、2.00、1.38和0.88 d,与空白对照差异不显著;茶小绿叶蝉1龄、2龄、3龄、4龄、5龄幼虫的存活率分别为99.50%、92.13%、70.25%、85.03%和85.68%,与空白对照差异不显著;茶小绿叶蝉从卵变为成虫总历期18.5 d,略长于对照的17.63 d,从1龄若虫变为成虫的存活率为46.85%,略低于对照的48.03%,但均与空白对照差异不显著,说明杀虫灯诱虫光源对茶小绿叶蝉卵和若虫的生长无显著影响(表1)。

2.2 灯距和灯高对茶小绿叶蝉成虫诱捕量的影响

2.2.1 灯距对灯内茶小绿叶蝉成虫诱捕量的影响

随着灯距的增大,杀虫灯内茶小绿叶蝉成虫的诱捕量逐渐下降。灯距10 m处,茶小绿叶蝉成虫的平均诱捕量可达45.89头;灯距60 m处茶小绿叶蝉成虫的平均诱捕量为1.56头,仅为10 m处的3.4%。除灯距20 cm外,其它灯距下茶小绿叶蝉成虫的诱捕量均随着灯高的增加而逐渐下降,其中灯距40 m

处,灯高 40 cm 和 20 cm 时茶小绿叶蝉成虫的诱捕量分别为 10.33 头和 17.67 头,二者之间差异显著($F=5.78, df=2, P=0.04$),其它灯距下,3 种灯高的杀虫灯内茶小绿叶蝉成虫诱捕量均无显著差异(图 1)。

表 1 诱虫光源对茶小绿叶蝉卵、若虫生长历期和存活率的影响
Table 1 Effects of LED light source on developmental durations of eggs and nymphs of *Empoasca onukii* and survival rate

龄期 Instar	历期 Duration (d)		存活率 Survival rate (%)	
	LED 光源 LED light source	空白对照 Blank control	LED 光源 LED light source	空白对照 Blank control
卵期 Egg	8.13±0.24 a	8.00±0.20 a	—	—
1 龄若虫 1st instar	3.75±0.85 a	3.25±0.48 a	99.50±0.50 a	99.75±0.25 a
2 龄若虫 2nd instar	2.38±0.38 a	2.25±0.32 a	92.13±0.88 a	92.63±0.55 a
3 龄若虫 3rd instar	2.00±0.41 a	1.63±0.47 a	70.25±0.99 a	69.60±2.57 a
4 龄若虫 4th instar	1.38±0.24 a	1.50±0.20 a	85.03±1.91 a	86.80±1.76 a
5 龄若虫 5th instar	0.88±0.24 a	1.00±0.20 a	85.68±2.05 a	86.20±2.31 a
总计 Total	18.50±1.10 a	17.63±0.75 a	46.85±1.17 a	48.03±1.81 a

表中数据为平均数±标准误。同行不同字母表示经 t 检验法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters in the same row indicate significant difference at $P<0.05$ level by t test.

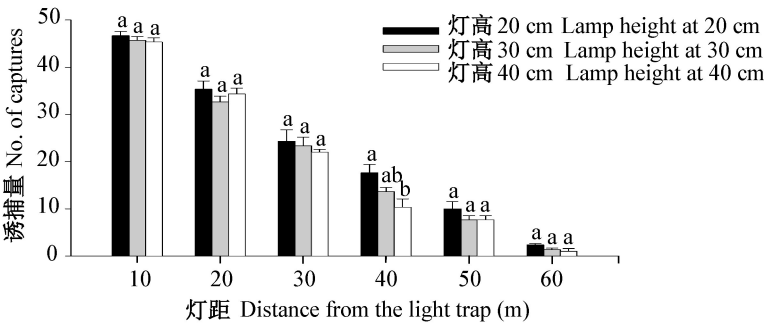


图 1 不同灯高、灯距下杀虫灯内茶小绿叶蝉成虫的诱捕量
Fig. 1 Captures of *Empoasca onukii* adults at different lamp distances and heights
图中数据为平均数±标准误。相同灯距下不同字母表示经 LSD 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters at the same lamp distance indicate significant difference at $P<0.05$ level by LSD test.

2.2.2 灯高对灯内茶小绿叶蝉成虫诱捕量的影响
不同高度杀虫灯内茶小绿叶蝉成虫诱捕量与灯距呈显著负线性相关, R^2 均大于 0.94。随着灯高的增加,杀虫灯对茶小绿叶蝉成虫的有效控制范围、诱杀中距离以及诱杀黄金距离逐渐缩小。灯高 20~40 cm 时,杀虫灯对茶小绿叶蝉成虫的平均有效控制范围为 58.17 m,平均诱杀中距离为 30.41 m,平均诱杀黄金距离为 23.86 m(表 2)。

表 2 不同高度杀虫灯诱杀茶小绿叶蝉成虫的有效控制范围、诱杀中距离和诱杀黄金距离
Table 2 Effective insect-killing distance, median trapping distance and golden trapping distance of light traps at different lamp heights to *Empoasca onukii* adults

灯高 Lamp height (cm)	拟合方程 Fitting equation	有效控制范围 Effective insect-killing distance (m)	诱杀中距离 Median trapping distance (m)	诱杀黄金距离 Golden trapping distance (m)
20	$y=59.71-1.15x(R^2=0.98)$	59.71	31.05	24.29
30	$y=58.17-1.11x(R^2=0.94)$	58.17	30.44	23.90
40	$y=56.61-1.07x(R^2=0.97)$	56.61	29.75	23.41
平均数 Mean	—	58.17	30.41	23.86

y : 灯距; x : 不同灯高和不同灯距组合下灯内诱杀茶小绿叶蝉数量占放飞总量的比例。 y : The lamp distance; x : the ratio of captures in light trap to the total number of released *E. onukii* adults at the different lamp distance and lamp height.

2.3 杀虫灯对茶园内茶小绿叶蝉成虫数量的影响

2.3.1 对有效控制范围内茶小绿叶蝉数量的影响

试验开始时不同灯距处茶小绿叶蝉的成虫数量无显著差异(2016年, $F=0.67$, $df=4$, $P=0.62$; 2017年, $F=0.53$, $df=4$, $P=0.72$), 随着时间推移不同灯距处茶小绿叶蝉成虫数量开始出现波动。2016年, 9月2日灯距5 m处茶小绿叶蝉成虫数量率先达到5个灯距中的最大值, 为14.00头, 9月9日不同灯距下茶小绿叶蝉成虫数量首次出现显著差异, 灯距20 m茶小绿叶蝉成虫数量显著高于灯距10 m和25 m处($F=$

0.35, $df=4$, $P=0.03$), 9月28日再次出现显著差异, 灯距5 m和10 m处茶小绿叶蝉成虫数量显著高于灯距15、20和25 m处茶小绿叶蝉成虫数量($F=4.82$, $df=4$, $P=0.01$)。2017年, 9月9日灯距5 m茶小绿叶蝉成虫数量率先达到5个灯距中的最大值, 为24.30头, 且不同灯距之间差异显著($F=10.03$, $df=4$, $P<0.01$), 随着灯距增加成虫数量逐渐减少, 除9月28日、10月9日、10月18日、10月21日外, 不同灯距成虫数量的差异显著性一直持续至10月27日($F=5.23$, $df=4$, $P=0.01$, 图2)。

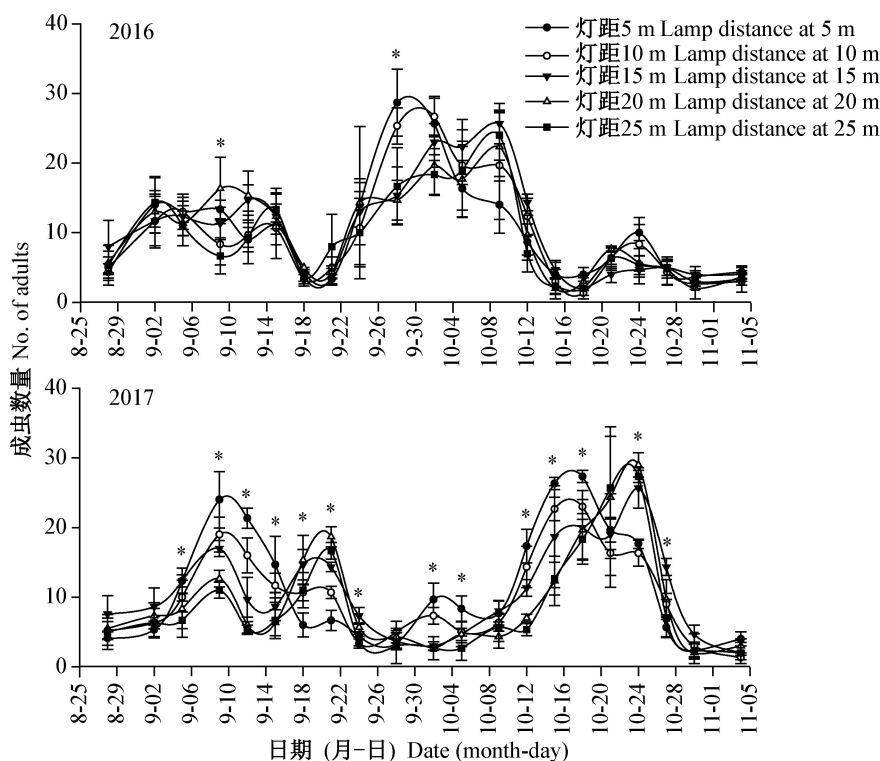


图2 不同灯距茶小绿叶蝉成虫数量的变化趋势

Fig. 2 Changes of number of *Empoasca onukii* adults at different lamp distances

图中数据为平均数±标准误。*表示经LSD法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. * indicates significant difference at $P<0.05$ level by LSD test.

2.3.2 对有效控制范围内外茶小绿叶蝉数量的影响

试验开始时, 不同灯距处茶小绿叶蝉的成虫数量无显著差异(2016年, $t=-0.31$, $df=23.00$, $P=0.76$; 2017年, $t=-1.77$, $df=23.00$, $P=0.09$)。2016年, 灯距25 m内和灯距120 m处茶小绿叶蝉成虫数量于9月15日开始出现显著差异($t=-2.33$, $df=23.00$, $P=0.03$), 茶小绿叶蝉成虫数量在10月2日达到最大值, 灯距25 m内茶小绿叶蝉成虫数量为灯距120 m处的49.5%($t=-3.32$, $df=4.26$, $P=0.03$), 10月21日二者无显著差异($t=-2.51$, $df=4.15$, $P=0.06$)。2017年, 灯距25 m内和灯距120 m处茶小绿叶蝉成虫数量

于9月12日开始出现显著差异($t=-3.16$, $df=23.00$, $P<0.01$), 灯距25 m内成虫数量为灯距120 m处的52.6%, 差异显著性持续至9月18日($t=-2.57$, $df=23.00$, $P=0.02$), 10月21日茶小绿叶蝉成虫数量达到最大值, 二者之间再次出现显著差异, 且灯距25 m内成虫数量为灯距120 m处的64.4%($t=-2.41$, $df=23.00$, $P=0.02$), 10月27日二者之间无显著差异($t=-2.57$, $df=23.00$, $P=0.02$, 图3)。表明LED风吸式杀虫灯对茶园内茶小绿叶蝉成虫数量有显著的抑制作用。

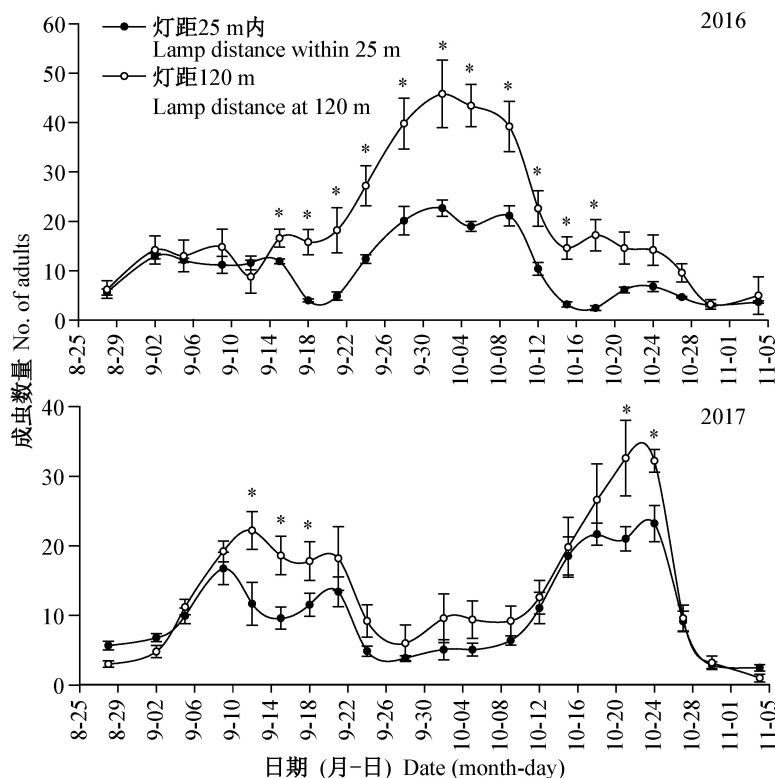


图3 灯距25 m内和120 m处茶小绿叶蝉成虫数量的变化趋势

Fig. 3 Changes of number of *Empoasca onukii* adults within 25 m and at 120 m lamp distances

图中数据为平均数±标准误。*表示经 t 检验法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. * indicates significant difference at $P < 0.05$ level by t test.

3 讨论

在特定外界因素胁迫下,昆虫在寄主上的生长发育会发生变化以提高自身对外界环境的适合度(宋亚茜等,2017),使用杀虫灯会改变田间部分区域的光周期,对昆虫产生潜在的影响。虽然光周期的改变会影响一些昆虫的生长发育和繁殖,如长光照有利于二点委叶蛾 *Athetis lepigone* 的生长发育和繁殖(郭于蒙等,2018)。昆虫的光周期均是由特定范围波长的光来调控的,如蟋蟀 *Gryllus bimaculatus* 的光周期由绿光调控(Komada et al., 2015),果蝇光周期由绿光和黄光调控(Hanai & Ishida, 2009)。但是并不是所有的光都会影响昆虫的生长发育和繁殖,如陈伟忠等(2016)研究结果表明,在蓝光、黄光和绿光处理下,只有蓝光能显著降低茶小绿叶蝉的卵孵化量。本研究结果表明LED风吸式杀虫灯的诱虫光源对茶小绿叶蝉卵和若虫的生长无显著影响,可能是因为该灯的辐照波长为紫光,不影响茶小绿叶蝉生长发育的光周期。此外,本研究结果显示茶小绿叶蝉若虫在茶枝上的存活率均低于50%,可能原因是水培茶枝耐虫害能力较差,不能为较多的若虫

持续提供足够的营养,与金珊等(2012)研究结果相似。

目标害虫的有效控制范围是杀虫灯重要的技术参数,是评估杀虫灯田间安装间距的参考指标,所以可以用灯距对灯内诱虫量的影响来评估杀虫灯对防治目标的有效控制范围。国内关于诱虫光源有效控制范围的研究较多,如季香云等(2011)通过相关研究明确杀虫灯对斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 和甜菜夜蛾 *S. exigua* 的有效控制距离分别为108.1、107.8 m,周建华等(2013)研究发现单波灯对蜀柏毒蛾的诱集距离可达到180 m,孔德生等(2013)明确频振式杀虫灯对棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 的控制范围为110 m,并且这些研究结果均表明随着灯距的增加诱虫量均逐渐降低,与本研究结果一致。除光强外,诱虫光源的诱杀范围还与防治对象的复眼结构、飞行能力、虫龄等生理特征有关(程文杰等,2011),如雌雄成虫飞行能力的差异导致杀虫灯内舞毒蛾 *Lymantria dispar* 雄虫数量显著高于雌虫数量(杨素平等,2007);随虫龄的增大黑腹果蝇 *Drosophila melanogaster* 的趋光性会降低(Le Bourg & Badia, 1995)。Venter et al. (2009)和季香云等(2011)研究结果表明

随着灯高的降低,杀虫灯对库蠓 *Culicoides* spp. 雌虫、斜纹夜蛾和甜菜夜蛾的诱捕量显著提高,本研究结果表明灯距超过 20 m 后茶小绿叶蝉诱捕量同样随灯高的增加而降低。本研究结果还表明 LED 风吸式杀虫灯对茶小绿叶蝉的有效控制距离较小,这可能与其飞行能力和活动性较弱有关(赵冬香等, 2004; 边磊等, 2014)。

朱祚亮等(2018)采用风吸式杀虫灯防治茶园内茶小绿叶蝉,虫口减退率可达 84%,说明杀虫灯对茶园茶小绿叶蝉具有显著的控制能力,与本研究结果一致。杀虫灯对目标害虫有聚集作用,所聚集的害虫若不能及时杀灭,会导致灯下虫口密度激增,反而导致更严重的为害(崔学贵等, 2011),如冯成玉和刘立春(2014)采用双波灯防治水稻害虫时发现,紧邻灯下的稻螟蛉虫卵发生量极高,约为灯距 150 m 处的 4 倍。本研究结果表明不同灯距处茶小绿叶蝉成虫数量呈波动变化,灯距 5 m 处茶小绿叶蝉成虫数量总是最早达到峰值,灯距 5 m 和 10 m 处成虫数量的增速快但降速慢,证明杀虫灯对茶小绿叶蝉成虫有聚集能力,并且杀虫灯风扇的维护非常重要,防止其损坏后灯下茶小绿叶蝉数量激增。

LED 风吸式杀虫灯虽然能够显著降低茶园内茶小绿叶蝉成虫数量,但成虫数量较高时 LED 风吸式杀虫灯有效控制范围内茶小绿叶蝉数量依然很高,表明仅依靠杀虫灯难以控制茶小绿叶蝉。技术集成是未来茶园虫害综合防治的趋势(倪康等, 2016),在今后研究中进一步筛选杀虫灯的配套技术以提高茶园茶小绿叶蝉的防治效果。

致谢:河南农业大学沈羽冲同学在室内叶蝉饲养试验中给予了大力帮助,特此致谢!

参 考 文 献 (References)

- Bian L, Cai XM, Luo ZX, Li ZQ, Chen ZM. 2018a. Decreased capture of natural enemies of pests in light traps with light-emitting diode technology. *Annals of Applied Biology*, 173: 251–260
- Bian L, Cai XM, Luo ZX, Li ZQ, Xin ZJ, Chen ZM. 2018b. Design of an attractant for *Empoasca onukii* (Hemiptera: Cicadellidae) based on the volatile components of fresh tea leaves. *Journal of Economic Entomology*, 111(2): 629–636
- Bian L, Chen ZM, Chen HC, Zhu XH. 2016. Trapping effect of a new LED light trap on the insects in tea gardens. *China Tea*, (6): 22–23 (in Chinese) [边磊, 陈宗懋, 陈华才, 朱旭华. 2016. 新型 LED 杀虫灯对茶园昆虫的诱杀效果评价. *中国茶叶*, (6): 22–23]
- Bian L, Sun XL, Chen ZM. 2014. Studies on daily flight activity and adult flight capacity of *Empoasca vitis* Göthe. *Journal of Tea Science*, 34(3): 248–252 (in Chinese) [边磊, 孙晓玲, 陈宗懋. 2014. 假眼小绿叶蝉的日飞行活动性及成虫飞行能力的研究. *茶叶科学*, 34(3): 248–252]
- 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 WZ, Huang HS, Chen XH, Chen RR, Chen SF, Cai CX. 2016. Impact of light on the egg hatch of tea leafhopper *Empoasca vitis*. *Newsletter of Sericulture and Tea*, (4): 22–24 (in Chinese) [陈伟忠, 黄伙水, 陈秀辉, 陈若荣, 陈思藩, 蔡创钊. 2016. 光对茶园小绿叶蝉卵孵化的影响. *蚕桑茶叶通讯*, (4): 22–24]
- Cheng WJ, Zheng XL, Wang P, Lei CL, Wang XP. 2011. Sexual difference of insect phototactic behavior and related affecting factors. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 22(12): 3351–3357 (in Chinese) [程文杰, 郑霞林, 王攀, 雷朝亮, 王小平. 2011. 昆虫趋光的性别差异及其影响因素. *应用生态学报*, 22(12): 3351–3357]
- Cui XG, Zhang LQ, Wang JF, Li QS. 2011. Research review in questions of pest light trapping and special equipment. *Modern Agricultural Science and Technology*, (23): 224–226, 231 (in Chinese) [崔学贵, 张立青, 王建法, 李庆生. 2011. 灯光诱虫及专用设备杀虫灯问题研究综述. *现代农业科技*, (23): 224–226, 231]
- Feng CY, Liu LC. 2014. Preliminary study on solar double-wave trapping light in rice field. *China Rice*, 20(6): 62–65 (in Chinese) [冯成玉, 刘立春. 2014. 太阳能双波诱虫灯在水稻田的应用效果研究. *中国稻米*, 20(6): 62–65]
- Guo YM, Cao ML, Bai XC, Liu TH, Ren Q, He YZ. 2018. Effects of photoperiod on development and reproduction of lepidopteran pest *Athetis lepigone* (Möschler). *Journal of Plant Protection*, 45 (4): 731–738 (in Chinese) [郭于蒙, 曹美琳, 白雪纯, 刘廷辉, 任倩, 何运转. 2018. 光周期对二点委夜蛾生长发育的影响. *植物保护学报*, 45(4): 731–738]
- Hanai S, Ishida N. 2009. Entrainment of *Drosophila* circadian clock to green and yellow light by Rh1, Rh5, Rh6 and CRY. *Neuroreport*, 20(8): 755–758
- Ji XY, Wan NF, Jiang JX. 2011. Ecological parameters and effective distance of insecticidal lights. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(3): 669–674 (in Chinese) [季香云, 万年峰, 蒋杰贤. 2011. 杀虫灯诱杀昆虫的有效距离及生态学参数. *应用昆虫学报*, 48(3): 669–674]
- Jin S, Sun XL, Chen ZM, Xiao B. 2012. Resistance of different tea cultivars to *Empoasca vitis* Göthe. *Scientia Agricultura Sinica*, 45 (2): 255–265 (in Chinese) [金珊, 孙晓玲, 陈宗懋, 肖斌. 2012. 不同茶树品种对假眼小绿叶蝉的抗性. *中国农业科学*, 45(2): 255–265]
- Komada S, Kamae Y, Koyanagi M, Tatewaki K, Hassaneen E, Saifulah ASM, Yoshii T, Terakita A, Tomioka K. 2015. Green-sensitive opsin is the photoreceptor for photic entrainment of an insect circadian clock. *Zoological Letters*, 1: 11
- Kong DS, Zhao YL, Sun MH, Wang HM, Li JD, Wang XX. 2013. Ap-

- plication technology of Jiaduo frequency trembler lamps on pests control in the peanut field. China Plant Protection, 33(1): 31–34 (in Chinese) [孔德生, 赵艳丽, 孙明海, 王宏梅, 李建达, 王新霞. 2013. 佳多频振式杀虫灯诱杀花生田害虫应用技术. 中国植保导刊, 33(1): 31–34]
- Le Bourg E, Badia J. 1995. Decline in photopositive tendencies with age in *Drosophila melanogaster* (Diptera: Drosophilidae). Journal of Insect Behavior, 8(6): 835–845
- Li HL, Cui HC, Zheng XX. 2017. Research advances on the biological property and controlling of tea leafhopper. Journal of Tea, 43(2): 67–70 (in Chinese) [李红莉, 崔宏春, 郑旭霞. 2017. 我国茶园小绿叶蝉生物学特性及防治技术研究现状. 茶叶, 43(2): 67–70]
- Li TH, Pan ZK. 2016. Research on the LED pest control light for tea plantations. Journal of Computational and Theoretical Nanoscience, 13(4): 2296–2299
- Liu HM, Zhu QS, Shi HZ. 2012. Application research of frequency trembler lamps on pests control in Xinyang tea producing area. Journal of Xinyang Agricultural College, 22(1): 116–118 (in Chinese) [刘红敏, 朱庆松, 史洪中. 2012. 频振式杀虫灯防治信阳茶树害虫的应用研究. 信阳农业高等专科学校学报, 22(1): 116–118]
- Liu LT, Su BL, Liu GC, Yi ZX, Tong ZY. 2010. The effect of the photoperiod on the growth and development of *Semiothisa cinereari*. Chinese Bulletin of Entomology, 47(5): 915–917 (in Chinese) [柳丽婷, 苏宝玲, 刘广纯, 易正鑫, 佟忠勇. 2010. 光周期对国槐尺蠖生长发育状况的影响. 昆虫知识, 47(5): 915–917]
- Ni K, Cai XM, Ruan JY. 2016. Green development of tea industry promoted by the synergy of fertilizer and pesticide dosage reduction, from the National Key R&D Program undertaken by Tea Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences. China Tea, (9): 31 (in Chinese) [倪康, 蔡晓明, 阮建云. 2016. 中国农业科学院茶叶研究所承担国家重点研发计划: 化肥农药减施增效助推茶产业绿色发展. 中国茶叶, (9): 31]
- Shi L, Vasseur L, Huang H, Zeng Z, Hu G, Liu X, You M. 2017. Adult tea green leafhoppers, *Empoasca onukii* (Matsuda), change behaviors under varying light conditions. PLoS ONE, 12(1): e01684391
- Song YX, Gao HH, Zhang L, Zhao HY. 2017. Effects of combined stress of heavy metal cadmium and zinc on the life table parameters and fecundity of English grain aphid *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae). Journal of Plant Protection, 44(3): 406–412 (in Chinese) [宋亚茜, 高欢欢, 张丽, 赵惠燕. 2017. Cd与Zn复合胁迫对麦长管蚜生命参数及繁殖的影响. 植物保护学报, 44(3): 406–412]
- Venter GJ, Hermanides KG, Boikanyo SNB, Majatladi DM, Morey L. 2009. The effect of light trap height on the numbers of *Culicoides* midges collected under field conditions in South Africa. Veterinary Parasitology, 166(3/4): 343–345
- Wang YX, Zhao LL, Xie JJ, Jia D, Hao J, Ma RY. 2016. Effects of different photoperiods on growth, development and reproduction of the alligator weed flea beetle *Agasicles hygrophila*. Journal of Plant Protection, 43(4): 648–655 (in Chinese) [王苑馨, 赵龙龙, 谢静静, 贾栋, 郝炯, 马瑞燕. 2016. 光周期对莲草直胸跳甲生长发育和繁殖的影响. 植物保护学报, 43(4): 648–655]
- Yang SP, Gao Q, Liu ZW. 2007. The application of frequency vibration lamps on the forecast and control of *Lymantria dispar*. Journal of Heilongjiang Vocational Institute of Ecological Engineering, 20(3): 52–53 (in Chinese) [杨素平, 高强, 刘兆武. 2007. 频振式杀虫灯在舞毒蛾监测预报及防治中的应用. 黑龙江生态工程职业学院学报, 20(3): 52–53]
- Zhao DX, Gao JL, Chen ZM, Xu HH. 2004. A preliminary study on acoustic communication of *Empoasca vitis*. Journal of Tea Science, 24(4): 235–239 (in Chinese) [赵冬香, 高景林, 陈宗懋, 徐汉虹. 2004. 假眼小绿叶蝉鸣声的初步研究. 茶叶科学, 24(4): 235–239]
- Zheng YT, Wang MX, Cui L, Han SJ, Yu PF, Han BY. 2017. Resistance of tea cultivars to the tea green leafhopper analyzed by EPG technique and their resistance-related substances. Acta Ecologica Sinica, 37(23): 8015–8028 (in Chinese) [郑雨婷, 王梦馨, 崔林, 韩善捷, 俞鹏飞, 韩宝瑜. 2017. 基于EPG技术分析茶树品种对茶小绿叶蝉的抗性及其相关的抗性物质. 生态学报, 37(23): 8015–8028]
- Zhou JH, Jia YZ, Fan CZ, Xiao YB, Xiong DG. 2013. Effects of the trap lamp with different wavelengths on trapping adults of *Parocneria orientalis*. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 34(6): 69–71 (in Chinese) [周建华, 贾玉珍, 范成志, 肖银波, 熊大国. 2013. 不同波长诱虫灯对蜀柏毒蛾成虫的诱集研究. 四川林业科技, 34(6): 69–71]
- Zhu ZL, Jiang SC, Liu XL, Zhang BF, Wang YF. 2018. Captures of tea pests in the solar light traps with the suction fan equipment. Hubei Plant Protection, (1): 20–21 (in Chinese) [朱祚亮, 江书春, 刘兴莉, 张卜芬, 王运凤. 2018. 风吸式太阳能杀虫灯诱杀茶树害虫试验. 湖北植保, (1): 20–21]

(责任编辑:张俊芳)