



陈雨思, 周孝贵, 曾维健, 肖强, 王知知, 陈学新. 不同茶园灰茶尺蠖和茶尺蠖对 5 种杀虫剂的抗药性监测 [J]. 环境昆虫学报, 2023, 45 (4): 1103–1110.

## 不同茶园灰茶尺蠖和茶尺蠖对 5 种杀虫剂的抗药性监测

陈雨思<sup>1\*</sup>, 周孝贵<sup>2\*</sup>, 曾维健<sup>3</sup>, 肖强<sup>2</sup>, 王知知<sup>1\*\*</sup>, 陈学新<sup>1\*\*</sup>

(1. 浙江大学昆虫科学研究所, 杭州 310058; 2. 中国农业科学院茶叶研究所, 杭州 310008; 3. 湖南农业大学, 长沙 410128)

**摘要:** 为了明确茶园暴食性害虫灰茶尺蠖 *Ectropis grisescens* 和茶尺蠖 *E. obliqua* 抗药性现状, 制定有效的防治措施, 本研究采用浸叶法分别测定了 5 种茶园常用杀虫剂对 5 个地理种群灰茶尺蠖和 2 个地理种群茶尺蠖的抗药性。结果表明, 不同茶园灰茶尺蠖和茶尺蠖对供试药剂的抗性水平存在差异: 浙江兰溪、浙江金华、河南南阳地区的灰茶尺蠖种群和浙江杭州、浙江安吉的茶尺蠖种群对联苯菊酯产生了中高等抗性; 浙江杭州的茶尺蠖种群对苦参碱的抗性达到中等水平, 其余供试种群对苦参碱抗性处于敏感水平; 所有供试种群对虫螨腈、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和茚虫威这 3 种药剂的抗性均处于敏感水平。从化学防治的角度来看, 目前茶园灰茶尺蠖和茶尺蠖对虫螨腈、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和茚虫威敏感性高, 抗性低, 推荐合理科学使用, 并避免长期使用单一农药。

**关键词:** 茶园; 灰茶尺蠖; 茶尺蠖; 杀虫剂; 抗药性监测

中图分类号: Q965.9; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2023) 04-1103-08

### Resistance monitoring of two tea geometrid moths (*Ectropis obliqua* and *E. grisescens*) to five frequently used insecticides in different tea plantations

CHEN Yu-Si<sup>1\*</sup>, ZHOU Xiao-Gui<sup>2\*</sup>, ZENG Wei-Jian<sup>3</sup>, XIAO Qiang<sup>2</sup>, WANG Zhi-Zhi<sup>1\*\*</sup>, CHEN Xue-Xin<sup>1\*\*</sup> (1. Institute of Insect Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2. Tea Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310008, China; 3. Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

**Abstract:** This study aims to clarify the current insecticide resistance of two sister species of the tea geometrid moths, *Ectropis obliqua* and *E. grisescens*, in tea plantations, and develop effective pest control methods. In the study, the resistance of five geographical populations of *E. grisescens* and two geographical populations of *E. obliqua* was evaluated by leaf dipping method to five frequently used insecticides: bifenthrin, matrine, chlorfenapyr, emamectin benzoate, and indoxacarb. The results showed that the populations of tea geometrid moths from different tea plantations had different resistance levels: The populations of *E. grisescens* from ZJLX, ZJJH and HNNY and the populations of *E. obliqua* from ZJHZ and ZJAJ showed moderate-level and high-level resistance to bifenthrin. The resistance level of *E. obliqua* from ZJHZ to matrine reached a medium level, while *E. obliqua* from ZJAJ and all the *E. grisescens* populations were at a sensitive level. The resistance of all tested populations to the other insecticides (chlorfenapyr,

基金项目: 国家重点研发计划 (2019YFD1002101)

\* 共同第一作者: 陈雨思, 女, 1999 年生, 博士研究生, 主要研究方向为农业昆虫与害虫防治, E-mail: 12116095@zju.edu.cn;

周孝贵, 男, 1983 年生, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为茶树植保, E-mail: zxg@tricaas.com

\*\* 共同通讯作者 Author for correspondence: 王知知, 女, 博士, 副研究员, 主要研究方向为害虫生物防治, E-mail: zzwang0730@zju.edu.cn; 陈学新, 博士, 教授, 主要研究方向为寄生蜂资源的发掘、害虫生物防治等, E-mail: xxchen@zju.edu.cn

收稿日期 Received: 2022-03-18; 接受日期 Accepted: 2022-09-13

emamectin benzoate and indoxacarb) stayed at a sensitive level. From the perspective of chemical control, all tested populations are highly susceptible to chlorfenapyr, emamectin benzoate and indoxacarb. It is recommended to use these three pesticides rationally, and reduce the long-term use of a single pesticide.

**Key words:** Tea plantations; *Ectropis griseascens*; *Ectropis obliqua*; insecticide; resistance monitoring

茶尺蠖隶属于鳞翅目 Lepidoptera 尺蛾科 Geometridae, 是茶园尺蠖类中发生最普遍、为害最严重的种类之一(陈李林等, 2020), 也是茶园中主要的食叶性害虫。近年来, 通过遗传学、形态学观察和分子特征分析发现, 过去统称的“茶尺蠖”已被确定为两个近缘种, 即茶尺蠖 *Ectropis obliqua* (Prout) 和灰茶尺蠖 *Ectropis griseascens* Warren (席羽等, 2014; 姜楠等, 2014; Zhang *et al.*, 2014; 唐美君等, 2019; Song *et al.*, 2021)。随后, 地理分布研究发现灰茶尺蠖在我国大部分茶叶产区均有发生为害(Wang *et al.*, 2019), 而茶尺蠖为害主要在江苏、浙江、安徽三省交界区域(Li *et al.*, 2019)。相比之下, 灰茶尺蠖在我国的发生区域远大于茶尺蠖, 且适生区范围广, 是我国茶园重要的鳞翅目害虫之一(陈李林等, 2020)。

茶尺蠖 1~2 龄时常集中为害, 形成发生中心。初孵幼虫活泼、善吐丝, 有趋光、趋嫩性, 分布在茶树表层叶缘与叶面, 取食嫩叶成花斑, 稍大后咬食叶片成“C”字形; 3 龄幼虫开始取食全叶, 分散为害, 分布部位也逐渐向下转移; 4 龄后开始暴食, 虫口密度大时可将嫩叶、老叶甚至嫩茎全部食尽(葛超美等, 2016)。严重爆发时, 会给茶农、茶企造成严重损失(Ma *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2016)。随着茶叶质量标准的不断提高, 茶园用药次数和用药量受到严格控制, 茶园

施用的农药也由高毒性向低毒性转变; 由水溶性、内吸性农药向脂溶性、非内吸性农药转变(陈宗懋等, 2020)。目前, 我国有效期内茶园用农药共有 67 个有效成分取得登记, 其中杀虫剂有效成分 49 个。从防治对象来看, 防治茶尺蠖的农药登记数为 133 个, 位列第 2, 仅次于防治茶小绿叶蝉的农药登记数量(352 个)(农业农村部农药检定所, 2022)。从有效成分数量来看, 联苯菊酯为茶园用农药登记数量最高的有效成分, 苦参碱是登记数量最高的植物源农药。此外, 基于茶叶农药残留及环境友好等各种因素, 新型高效低水溶性农药如虫螨腈、甲氨基阿维菌素、茚虫威等已经成为我国茶园害虫防治的主要农药品种(赵之德等, 2019; 李良德等, 2020)。为了及时掌握茶园茶尺蠖对这些常用药剂的抗药性现状和发展趋势, 本研究测定了 5 种茶园常用杀虫剂对 5 个地理种群灰茶尺蠖和 2 个地理种群茶尺蠖的抗药性水平。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试虫源

浙江乐清(ZJYQ\_EG)种群为敏感种群, 由中国农业科学院茶叶研究所提供, 于 2018 年在浙江乐清茶园采集, 室内不接触药剂连续饲养 30 代以上。田间种群采集信息见表 1。于室内用新鲜茶叶枝条饲养扩繁, 饲养条件: 温度  $28 \pm 1^\circ\text{C}$ , 相对

表 1 供试茶尺蠖和灰茶尺蠖种群的来源

Table 1 Localities of *Ectropis obliqua* and *Ectropis griseascens* populations

种群 Population	种类 Species	采样地点 (经纬度) Sampling locality (Longitude and latitude)	采集日期 Collecting date
浙江乐清 ZJYQ_EG	灰茶尺蠖 <i>E. griseascens</i>	E121°4'48", N28°21'46.08"	2018-04-28
浙江兰溪 ZJLX_EG	灰茶尺蠖 <i>E. griseascens</i>	E119°28'12", N29°6'	2021-05-27
浙江金华 ZJJH_EG	灰茶尺蠖 <i>E. griseascens</i>	E119°24', N29°0'36"	2021-08-13
浙江绍兴 ZJSX_EG	灰茶尺蠖 <i>E. griseascens</i>	E120°41'24", N29°55'51.6"	2021-05-11
河南南阳 HNNY_EG	灰茶尺蠖 <i>E. griseascens</i>	E113°25'48", N32°22'48"	2021-05-13
浙江杭州 ZJHZ_EO	茶尺蠖 <i>E. obliqua</i>	E119°59'24", N30°16'48"	2021-06-28
浙江安吉 ZJAJ_EO	茶尺蠖 <i>E. obliqua</i>	E119°45'44", N30°44'14"	2021-08-17

湿度 60%，光周期 14 L: 10 D。待灰茶尺蠖幼虫或茶尺蠖幼虫第 2 代 ( $G_1$ ) 孵化后，选择个体大小一致的 3 龄幼虫作为试虫。

### 1.2 供试药剂

供试药剂有 5 种杀虫剂，分别为联苯菊酯标准品 (阿拉丁试剂 (上海) 有限公司)、98% 苦参碱 (阿拉丁试剂 (上海) 有限公司)、99.99% 虫螨腈标准品 (Accustandard Inc.)、98% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 (百灵威科技有限公司) 和 15% 茚虫威乳油 (美国富美实公司)。

### 1.3 试验方法

参照中华人民共和国农业行业标准《农药室内生物测定试验准则杀虫剂第 14 部分: 浸叶法》(中华人民共和国农业部, 2008), 分别测定 5 种杀虫剂对灰茶尺蠖和茶尺蠖 3 龄幼虫的室内毒力。具体步骤为: 除 15% 茚虫威乳油外, 其它药剂用丙酮溶解, 再用 0.1% Triton X-100 水溶液将所有药剂配制成母液, 最后用水溶液分别稀释成 5 个预先设定的系列浓度, 混匀备用。15% 茚虫威乳油直接用 0.1% Triton X-100 水溶液稀释到预设浓度, 混匀备用。0.1% Triton X-100 水溶液作为空白对照。每个浓度设置 3 次重复, 每个重复处理 30 头试虫。用清水将茶园采摘的新鲜茶树嫩梢冲洗干净, 晾干备用。之后, 将洗净晾干的嫩梢浸入药液中充分接触, 取出后置于滤纸上晾干, 放入干净培养盒, 然后接入 30 头大小一致的 3 龄茶尺蠖或灰茶尺蠖幼虫, 置于养虫室内饲养。48 h 后分别检查茶尺蠖存活情况, 以毛笔轻触虫体不

能正常活动即判断为死亡。对照死亡率低于 10% 为有效试验, 若对照死亡率在 10% 以上, 则需重复试验。以校正死亡率在 5% ~ 95% 的浓度范围作为药剂的浓度范围, 然后将供试药剂按等比级数稀释法配成 5 个系列浓度, 供正式试验用。

### 1.4 数据处理

所有室内毒力测定数据均用 IBM SPSS Statistics 软件 (version 21) 和 Microsoft Excel 计算致死中浓度  $LC_{50}$  值、95% 置信区间、毒力回归方程。同时抗性倍数计算方法如下: 抗性倍数 (RR) = 茶园茶尺蠖种群  $LC_{50}$  / 室内敏感品系  $LC_{50}$ 。由于缺少茶尺蠖敏感种群, 本研究中茶尺蠖抗性倍数以灰茶尺蠖  $LC_{50}$  值为基准。根据全国农技中心害虫抗药性水平的分级标准: 抗性倍数 RR:  $0 < RR \leq 5.0$  为敏感水平、 $5.0 < RR \leq 10.0$  为低水平抗性、 $10.0 < RR \leq 100.0$  为中等水平抗性、 $RR > 100.0$  为高水平抗性 (全国农技中心, 2022)。

## 2 结果与分析

### 2.1 灰茶尺蠖对 5 种杀虫剂的相对敏感基线

采用浸叶法建立了敏感种群 ZJYQ\_EG 的  $LC_{50}$  值作为敏感基线。结果表明灰茶尺蠖对对联苯菊酯、虫螨腈、甲维盐敏感性均较高,  $LC_{50}$  值分别为 0.17 mg/L、0.06 mg/L 和 0.019 mg/L。对苦参碱和茚虫威敏感性中等,  $LC_{50}$  值分别为 5.24 mg/L 和 6.3 mg/L (表 2)。

表 2 灰茶尺蠖对茶园常用 5 种杀虫剂的相对敏感基线

Table 2 Relative susceptible baseline of ZJYQ\_EG to five frequently used insecticides

杀虫剂 Insecticides	毒力回归方程 Toxicity regression equation	$LC_{50}$ (mg/L)	卡方 $\chi^2$ Chi - squared	95% 置信区间 95% confidence interval
联苯菊酯 Bifenthrin	$y = 0.62x + 0.47$	0.17	7.62	0.001 ~ 0.733
苦参碱 Matrine	$y = 1.46x - 1.05$	5.24	6.05	2.888 ~ 10.177
虫螨腈 Chlorfenapyr	$y = 1.05x + 1.27$	0.06	17.18	0.003 ~ 0.226
甲维盐 Emamectin benzoate	$y = 1.63x + 2.80$	0.019	26.46	0.000 ~ 0.163
茚虫威 Indoxacarb	$y = 1.04x - 0.83$	6.30	9.54	2.101 ~ 19.828

### 2.2 灰茶尺蠖和茶尺蠖对 5 种杀虫剂抗药性测定

通过测定不同茶园灰茶尺蠖和茶尺蠖种群对对联苯菊酯等 5 种药剂的抗药性水平发现 (表 3), 不同茶园灰茶尺蠖或茶尺蠖对不同的药剂抗药性

差异较大。与浙江乐清敏感种群相比, 供试灰茶尺蠖和茶尺蠖已对联苯菊酯产生不同程度的抗药性。浙江兰溪、浙江金华、河南南阳灰茶尺蠖和浙江杭州茶尺蠖 4 个种群对联苯菊酯的抗药性已达

中等水平,抗性倍数分别为 13.05 倍、54.02 倍、36.65 倍、89.90 倍,浙江安吉茶尺蠖种群对联苯菊酯的抗药性已达高抗水平 (RR 131.78 倍)。而浙江绍兴灰茶尺蠖种群抗性倍数 (0.42 倍) 明显低于敏感品系,抗性水平极低。

与敏感种群相比,浙江兰溪、浙江金华、河南南阳灰茶尺蠖种群和浙江安吉茶尺蠖种群对植物源农药苦参碱的抗性倍数在 0.62 ~ 2.61 之间,

属于敏感水平。浙江杭州种群对苦参碱的抗性倍数为 22.49 倍,达到中抗水平 (表 4)。

与敏感种群相比,3 种高效低水溶性杀虫剂虫螨腈 (表 5)、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 (表 6) 和茚虫威 (表 7) 对所有试验种群的生物活性均较高,抗性倍数在 0.42 ~ 4.89 之间,所有试验种群均处于敏感水平。

表 3 不同灰茶尺蠖和茶尺蠖种群对联苯菊酯的抗药性

Table 3 Resistance of different populations of *Ectropis obliqua* and *Ectropis grisescens* to bifenthrin

种群 Population	毒力回归方程 Toxicity regression equation	LC <sub>50</sub> (mg/L)	卡方 $\chi^2$ Chi-squared	95% 置信区间 95% confidence interval	RR Resistance ratio
浙江兰溪 ZJLX_EG	$y = 1.41x - 0.50$	2.26	24.75	0.436 ~ 12.397	13.05
浙江绍兴 ZJSX_EG	$y = 0.82x + 0.95$	0.07	7.95	0 ~ 0.297	0.42
浙江金华 ZJJH_EG	$y = 1.46x - 1.41$	9.35	26.90	1.927 ~ 72.285	54.02
河南南阳 HNNY_EG	$y = 1.14x - 0.92$	6.34	19.49	1.576 ~ 35.628	36.65
浙江杭州 ZJHZ_EO	$y = 1.06x - 1.27$	15.55	5.59	7.801 ~ 36.817	89.90
浙江安吉 ZJAJ_EO	$y = 1.10x - 1.49$	22.30	2.66	16.300 ~ 31.745	131.18

表 4 不同灰茶尺蠖和茶尺蠖种群对苦参碱的抗药性

Table 4 Resistance of different populations of *Ectropis obliqua* and *Ectropis grisescens* to matrine

种群 Population	毒力回归方程 Toxicity regression equation	LC <sub>50</sub> (mg/L)	卡方 $\chi^2$ Chi-squared	95% 置信区间 95% confidence interval	RR Resistance ratio
浙江兰溪 ZJLX_EG	$y = 1.94x - 2.44$	18.28	20.44	5.460 ~ 320.768	3.59
浙江绍兴 ZJSX_EG	$y = 1.26x - 0.71$	3.62	21.82	0.894 ~ 24.552	0.69
浙江金华 ZJJH_EG	$y = 0.77x - 0.88$	13.65	9.71	4.132 ~ 185.764	2.61
河南南阳 HNNY_EG	$y = 1.30x - 0.67$	3.26	19.33	0.911 ~ 16.088	0.62
浙江杭州 ZJHZ_EO	$y = 1.97x - 4.08$	117.73	0.01	68.326 ~ 684.440	22.49
浙江安吉 ZJAJ_EO	$y = 1.27x - 1.09$	7.24	4.73	5.484 ~ 9.802	1.38

表 5 不同灰茶尺蠖和茶尺蠖种群对虫螨腈的抗药性

Table 5 Resistance of different populations of *Ectropis obliqua* and *Ectropis grisescens* to chlorfenapyr

种群 Population	毒力回归方程 Toxicity regression equation	LC <sub>50</sub> (mg/L)	卡方 $\chi^2$ Chi-squared	95% 置信区间 95% confidence interval	RR Resistance ratio
浙江兰溪 ZJLX	$y = 2.02x + 1.09$	0.29	12.79	0.130 ~ 0.701	4.77
浙江绍兴 ZJSX_EG	$y = 1.32x + 0.69$	0.30	7.99	0.140 ~ 0.636	4.89
浙江金华 ZJJH_EG	$y = 1.13x + 1.00$	0.13	32.83	0.001 ~ 1.679	2.10
河南南阳 HNNY_EG	$y = 1.39x + 1.2$	0.14	13.40	0.045 ~ 0.373	2.23
浙江杭州 ZJHZ_EO	$y = 1.23x + 0.92$	0.18	25.59	0.023 ~ 1.120	2.93
浙江安吉 ZJAJ_EO	$y = 1.23x + 0.92$	0.18	25.59	0.023 ~ 1.120	3.00

表 6 不同灰茶尺蠖和茶尺蠖种群对甲氨基阿维菌素苯甲酸盐的抗药性

Table 6 Resistance of different populations of *Ectropis obliqua* and *Ectropis grisescens* to emamectin benzoate

种群 Population	毒力回归方程 Toxicity regression equation	LC <sub>50</sub> (mg/L)	卡方 $\chi^2$ Chi-squared	95% 置信区间 95% confidence interval	RR Resistance ratio
浙江兰溪 ZJLX	$y = 1.74x + 3.22$	0.014	0.14	0.011 ~ 0.018	0.74
浙江绍兴 ZJSX_EG	$y = 1.02x + 2.15$	0.008	4.37	0.004 ~ 0.012	0.42
浙江金华 ZJZH_EG	$y = 1.21x + 2.27$	0.013	3.22	0.009 ~ 0.018	0.68
河南南阳 HNNY_EG	$y = 1.24x + 2.58$	0.008	0.99	0.005 ~ 0.012	0.42
浙江杭州 ZJHZ_EO	$y = 0.97x + 1.36$	0.039	8.88	0.011 ~ 0.101	2.05
浙江安吉 ZJAJ_EO	$y = 0.91x + 1.35$	0.033	8.03	0.008 ~ 0.083	1.74

表 7 不同灰茶尺蠖和茶尺蠖种群对茚虫威的抗药性

Table 7 Resistance of different populations of *Ectropis obliqua* and *Ectropis grisescens* to indoxacarb

种群 Population	毒力回归方程 Toxicity regression equation	LC <sub>50</sub> (mg/L)	卡方 $\chi^2$ Chi-squared	95% 置信区间 95% confidence interval	RR Resistance ratio
浙江兰溪 ZJLX	$y = 0.88x - 0.62$	5.04	11.54	1.283 ~ 20.761	0.80
浙江绍兴 ZJSX_EG	$y = 1.4x - 1.55$	23.21	12.61	6.679 ~ 95.948	3.68
浙江金华 ZJZH_EG	$y = 0.75x - 1.09$	28.70	16.97	4.666 ~ 509.915	4.56
河南南阳 HNNY_EG	$y = 0.91x - 0.96$	11.38	14.03	2.598 ~ 62.810	1.81
浙江杭州 ZJHZ_EO	$y = 1.00x - 1.25$	17.80	14.55	4.131 ~ 95.577	2.82
浙江安吉 ZJAJ_EO	$y = 0.77x - 1.10$	26.87	12.51	6.101 ~ 210.360	4.27

### 3 结论与讨论

长期以来, 部分茶叶消费国家以我国茶叶农药残留超标为主要理由, 对我国茶叶出口实施绿色贸易壁垒, 严重影响了我国的茶叶出口 (顾国达等, 2007; 邱娟和王波, 2015)。因此, 在茶园害虫防治过程中合理选择农药产品并减量使用是非常必要的。本研究监测了茶园重要害虫灰茶尺蠖和茶尺蠖对目前茶园生产过程中常用 5 种杀虫剂的抗药性, 明确当前茶园灰茶尺蠖和茶尺蠖的抗药性水平, 从而为其田间防治提供用药依据。

研究结果表明, 与敏感种群相比, 多个茶园灰茶尺蠖或茶尺蠖已对联苯菊酯产生中高等水平抗性。联苯菊酯能有效防治鳞翅目幼虫、小绿叶蝉、茶蚜、茶叶螨等茶园害虫, 因其具有杀虫谱广、低毒、低残留等特点, 成为无公害茶叶生产中的推荐药剂 (陈宗懋, 2002; 陈宗懋等, 2020)。

近年来, 茶园害虫对菊酯类农药产生抗药性的情况, 受到广泛关注。例如, 周铁锋和黄海涛 (2015) 报道了浙江余杭茶尺蠖对联苯菊酯、功夫菊酯等药剂已产生较高抗性, 且浙江萧山茶尺蠖对联苯菊酯的抗性在 2015 年 (LC<sub>50</sub> 值为 4.66 mg/L) 比 1999 年 (LC<sub>50</sub> 值为 0.32 mg/L) 增加了 14.4 倍。李建宇等 (2015) 比较了不同年份福建福州宦溪茶园的假眼小绿叶蝉 *Empoasca vitis* Göthe 抗药性情况, 与 2009 年相比, 2015 年福建福州宦溪茶园的假眼小绿叶蝉对联苯菊酯的抗性倍数达 10 倍以上, 抗性升至中等水平; 福建省福安、安溪和武夷山 3 个地区的茶小绿叶蝉 *Empoasca pirusuga* Matumura 也对该药均产生了明显抗药性, 抗性程度在 10 倍左右 (李良德等, 2020)。此外, 金银利等 (2020) 测定了不同药剂对河南信阳茶园灰茶尺蠖的室内毒力, 联苯菊酯处理灰茶尺蠖 LC<sub>50</sub> 值为 38.55 mg/L。与本研究敏感种群 (表 2) 相比, 该研究中河南信阳茶尺蠖对联苯菊酯的抗性倍数达到 226.76 倍。结合本试验结果, 表明由于茶园

长期使用联苯菊酯等菊酯类农药,大部分茶园灰茶尺蠖或茶尺蠖对该类杀虫剂产生了中高等水平抗药性,值得引起广泛重视。

我国有机茶园或无公害茶园生产中,苦参碱、印楝素和鱼藤酮等植物源农药因高效低毒、杀虫谱广等特点,被广泛推广使用(陈宗懋,2001)。本研究中,除联苯菊酯外,浙江杭州茶尺蠖种群对苦参碱出现中等抗性水平。虽然苦参碱这类植物源农药由多种活性成分组成,可通过多位点共同作用防治病虫害,普遍认为不易产生抗药性(Zeng *et al.*, 2018)。然而与化学农药相似,长期使用植物源农药会导致抗药性上升(Tangtrakulwanich and Reddy, 2014)。例如,有报道指出印楝素连续处理40代后,桃蚜 *Myzus persicae* 对其抗性倍数达到9倍(Feng and Isman, 1995)。由此表明,浙江杭州茶尺蠖种群对苦参碱的抗药性可能是由于长期使用单一农药所致。

根据我国可持续发展的战略要求,茶园的管理应遵循“预防为主,综合治理”的IPM原则,科学有效地使用低浓度、低残留的化学药剂,并结合理化诱控、生态调控和生物防治等措施进行综合治理。因此,除了关注杀虫剂对茶园害虫的防效外,还应发挥各种措施的优势,探索建立包含多种措施的茶园绿色防控集成技术。针对茶园灰茶尺蠖、茶尺蠖和小绿叶蝉等害虫的防治前人已经开展了多方面研究,并取得一定成果(李喜旺等,2017; 陈宗懋,2020)。有学者建议防治灰茶尺蠖和茶尺蠖时应结合多种防控方法,将茶园中频有发生的其他类型害虫考虑在内,明确茶园主要害虫和次要害虫(张帅琪等,2020)。理化诱控方面,通过性诱剂诱捕茶尺蠖成虫,加强茶园害虫的预测预报与信息化监测,确定防治适期(李喜旺等,2018)。生物防治方面,利用茶园天敌昆虫,如提高寄生蜂的寄生能力,引导蜘蛛或食蚜蝇等增强其捕食效应,以提高天敌控害效果(周孝贵等,2022)。生态调控方面,种植显花植物缩短灰茶尺蠖成虫的寿命(陈李林,2019)。采用“推-拉”策略种植驱避/引诱植物(江丽容等,2010; 张正群等,2015),合理间套作减轻尺蠖、小绿叶蝉的危害(陈李林等,2019; 胡桂萍等,2021),建立功能植物在茶园生态服务系统中保益控害、提质增效的作用(史凡等,2022)。化学防治方面,结合本研究结果,在茶园必需使用化学农药防治茶园害虫时,建议减少或避免使用中高

抗药剂(如联苯菊酯),优先选择并交替使用本研究中的3种低抗或敏感药剂(虫螨腈、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐或茚虫威),以提高灰茶园害虫防治效率,延缓抗药性的发展,并提升茶叶质量。通过以上措施,茶园农药的使用将进一步减量,有利于在茶园中建立起较为平衡的生态系统,发展无公害茶叶或有机茶园管理模式。

## 参考文献 (References)

- Chen LL, Chen P, Wang Y, *et al.* Cover crops mediate abundance and egg density of tea green leafhopper (Hemiptera: Cicadellidae) in a tea plantation [J]. *Journal of Plant Protection*, 2019, 46 (5): 989–996. [陈李林, 陈平, 王优, 等. 茶园间作功能植物对茶小绿叶蝉的调控作用 [J]. 植物保护学报, 2019, 46 (5): 989–996]
- Chen LL, Zhou H, Zhao J. Potential climate-suitable distribution of *Ectropis grisea* in China based on the CLIMEX and ArcGIS prediction [J]. *Journal of Tea Science*, 2020, 40 (6): 817–829. [陈李林, 周浩, 赵杰. 基于 CLIMEX 和 ArcGIS 的灰茶尺蠖在中国的潜在适生区预测 [J]. 茶叶科学, 2020, 40 (6): 817–829]
- Chen LL. Effects of flowering plants on fecundity and lifespan of adult *Ectropis grisea* [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 34 (9): 1059–1063. [陈李林. 显花植物对灰茶尺蠖成虫产卵量和寿命的影响 [J]. 福建农业学报, 2019, 34 (9): 1059–1063]
- Chen ZM, Cai XM, Zhou L, *et al.* Developments on tea plant pest control in past 40 years in China [J]. *China Tea*, 2020, 42 (1): 1–8. [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 ZM. Choice of pyrethroid pesticides in pollution-free tea production [J]. *China Tea*, 2002, 3: 3–4. [陈宗懋. 无公害茶叶生产中拟除虫菊酯类农药的选择 [J]. 中国茶叶, 2002, 3: 3–4]
- Chen ZM. Integrated pest control in pollution-free tea production [J]. *Plant Protection Technology and Extension*, 2001, 9: 38–40. [陈宗懋. 无公害茶叶生产中的病虫综合防治 [J]. 植保技术与推广, 2001, 9: 38–40]
- Cheng FY, Xu XL, Ma MJ, *et al.* Study on the sustainable effect of ecological control of tea garden pests [J]. *Journal of Tea Communication*, 2018, 45 (3): 32–35. [程繁杨, 涂修亮, 马梦君, 等. 茶园害虫生态防控持续效果研究 [J]. 茶叶通讯, 2018, 45 (3): 32–35]
- Feng R, Isman MB. Selection for resistance to azadirachtin in the green peach aphid, *Myzus persicae* [J]. *Experientia*, 1995, 51: 831–833.
- Ge CM, Yin KS, Tang MJ, *et al.* Biological characteristics of *Ectropis grisea* Warren [J]. *Acta Agricuturae Zhejiangensis*, 2016, 28 (3): 464–468. [葛超美, 殷坤山, 唐美君, 等. 灰茶尺蠖的生物学特性 [J]. 浙江农业学报, 2016, 28 (3): 464–468]
- Gu GD, Niu XJ, Zhang QJ. Empirical study on the impacts of technical

- barrier to trade on international trade – taking tea trade between China and Japan as an example [J]. *Journal of International Trade*, 2007, 6: 74 – 80. [顾国达, 牛晓婧, 张钱江. 技术壁垒对国际贸易影响的实证分析——以中日茶叶贸易为例 [J]. 国际贸易问题, 2007, 6: 74 – 80]
- Hu GP, Ye C, Cao HM, *et al.* Effects of intercropping on the population of *Emplasca onukii* Matsuda and its natural enemies guilds [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2021, 42 (6): 1770 – 1776. [胡桂萍, 叶川, 曹红妹, 等. 茶园三种间作模式对小贵小绿叶蝉及其天敌功能团群落的影响 [J]. 热带作物学报, 2021, 42 (6): 1770 – 1776]
- Institute for the Control of Agrochemicals. Pesticide registration data [DB/OL]. [2022 – 04 – 15]. <http://www.chinapesticide.org.cn/hysj/index.jhtml>. [农业农村部农药检定所. 农药登记数据 [DB/OL]. [2022 – 04 – 15]. <http://www.chinapesticide.org.cn/hysj/index.jhtml>]
- Jiang LR, Liu SA, Han BY, *et al.* Effect of odours from seven species of host and non-host plants on the adult behaviour of the tea geometrid, *Ectropis obliqua* Prout [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30 (18): 4993 – 5000. [江丽容, 刘守安, 韩宝瑜, 等. 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 [J]. 生态学报, 2010, 30 (18): 4993 – 5000]
- Jiang N, Liu SX, Xue DY, *et al.* External morphology and molecular identification of two tea geometrid moth from southern China [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2014, 51 (4): 987 – 1002. [姜楠, 刘淑仙, 薛大勇, 等. 我国华东地区两种茶尺蠖的形态和分子鉴定 [J]. 应用昆虫学报, 2014, 51 (4): 987 – 1002]
- Jin YL, Shi HZ, Ma QC, *et al.* Toxicity assessment of seven insecticides to second – instar larvae of *Ectropis griseascens* Warren [J]. *Journal of Xinyang Agriculture and Forestry University*, 2020, 30 (1): 92 – 96. [金银利, 史洪中, 马全朝, 等. 7 种杀虫剂对灰茶尺蠖 2 龄幼虫的毒力评价 [J]. 信阳农林学院学报, 2020, 30 (1): 92 – 96]
- Li JY, Shi MZ, Fu JW, *et al.* Monitoring and regional differentiations on insecticide – resistance of *Empoasca vitis* [J]. *Fujian Journal of Agricultural Science*, 2015, 30 (10): 989 – 992. [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 LD, Wang DF, Wu GY, *et al.* Insecticide resistance on five common pesticides of *Empoasca flavescens* in Fujian tea growing areas [J]. *Acta Tea Sinica*, 2020, 61 (3): 133 – 137. [李良德, 王定锋, 吴光远, 等. 福建省 3 个地区茶小绿叶蝉对 5 种常用农药的抗药性比较 [J]. 茶叶学报, 2020, 61 (3): 133 – 137]
- Li XW, Huang C, Yu YC, *et al.* Field application technique and control efficiency of *Ectropis obliqua* sex pheromone [J]. *Journal of Plant Protection*, 2018, 45 (5): 1054 – 1060. [李喜旺, 黄晨, 于永晨, 等. 茶尺蠖性信息素的田间使用技术及防治效果 [J]. 植物保护学报, 2018, 45 (5): 1054 – 1060]
- Li XW, Liu FJ, Shao SR, *et al.* Research progress and prospect of green control techniques of *Ectropis obliqua* [J]. *Journal of Tea Science*, 2017, 37 (4): 325 – 331. [李喜旺, 刘丰静, 邵胜荣, 等. 茶尺蠖绿色防控技术研究现状及展望 [J]. 茶叶科学, 2017, 37 (4): 325 – 331]
- Li Z, Cai X, Luo Z, *et al.* Geographical distribution of *Ectropis griseascens* (Lepidoptera: Geometridae) and *Ectropis obliqua* in China and description of an efficient identification method [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2019, 112 (1): 277 – 283.
- Ma L, Li Z, Bian L, *et al.* Identification and comparative study of chemosensory genes related to host selection by legs transcriptome analysis in the tea geometrid *Ectropis obliqua* [J]. *PLoS ONE*, 2016, 11 (3): e0149591.
- Ministry of Agriculture of the PRC. NY/T 1154. 14 – 2008 Guideline for laboratory bioassay of pesticides part 14: Leaf – dipping method [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2008. [中华人民共和国农业部. NY/T 1154. 14 – 2008 农药室内生物测定试验准则杀虫剂第 14 部分: 浸叶法 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2008]
- National Agricultural Technology Center. Monitoring report of agricultural pest resistance in China in 2021 [EB/OL]. (2022 – 03 – 07) [2022 – 04 – 15]. <https://www.natesc.org.cn/news/des?id=e84db3a3-694a-4099-b84d-f0f87b60f182>. [全国农技中心. 2021 年全国农业有害生物抗药性监测报告 [EB/OL]. (2022 – 03 – 07) [2022 – 04 – 15]. <https://www.natesc.org.cn/news/des?id=e84db3a3-694a-4099-b84d-f0f87b60f182>]
- Qiu J, Wang B. The impact of green trade barriers on China's tea exports to EU [J]. *Forestry Economics*, 2015, 37 (8): 122 – 125. [邱娟, 王波. 欧盟绿色贸易壁垒对中国茶叶出口影响测度分析 [J]. 林业经济, 2015, 37 (8): 122 – 125]
- Shi F, Huang HJ, Chen YT, *et al.* Effects of intercropping functional plants on the ecosystem functions and services in tea garden [J]. *Journal of Tea Science*, 2022, 42 (2): 151 – 168. [史凡, 黄泓晶, 陈燕婷, 等. 间套作功能植物对茶园生态系统服务功能的影响 [J]. 茶叶科学, 2022, 42 (2): 151 – 168]
- Song X, Yang T, Xu X, *et al.* Characterization of the complete mitochondrial genome of *Ectropis griseascens* (Lepidoptera, Geometridae) [J]. *Mitochondrial Dna Part B-Resources*, 2021, 6 (7): 1953 – 1955.
- Tang MJ, Wang ZB, Guo HW, *et al.* An identification method for the adult and larva between the two sibling species *Ectropis obliqua* and *Ectropis griseascens* [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (4): 172 – 175. [唐美君, 王志博, 郭华伟, 等. 茶尺蠖和灰茶尺蠖幼虫及成虫的鉴别方法 [J]. 植物保护, 2019, 45 (4): 172 – 175]
- Tangtrakulwanich K, Reddy GVP. Development of Insect Resistance to Plant Biopesticides: An Overview. In: Singh D, ed. *Advances in Plant Biopesticides* [M]. New Delhi: Springer India, 2014: 47 – 62.
- Wang YN, Tang L, Hou Y, *et al.* Differential transcriptome analysis of leaves of tea plant (*Camellia sinensis*) provides comprehensive insights into the defense responses to *Ectropis obliqua* attack using RNA-seq [J]. *Functional & Integrative Genomics*, 2016, 16 (4): 383 – 398.
- Wang Z, Bai J, Liu Y, *et al.* Transcriptomic analysis reveals insect hormone biosynthesis pathway involved in desynchronized development phenomenon in hybridized sibling species of tea

- geometrids (*Ectropis grisescens* and *Ectropis obliqua*) [J]. *Insects*, 2019, 10 (11): 381.
- Xi Y, Yin KS, Tang MJ, et al. Geographic populations of the tea geometrid, *Ectropis obliqua* (Lepidoptera: Geometridae) in Zhejiang, eastern China have differentiated into different species [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2014, 57 (9): 1117–1122. [席羽, 殷坤山, 唐美君, 等. 浙江茶尺蠖地理种群已分化成为不同种 [J]. 昆虫学报, 2014, 57 (9): 1117–1122]
- Zeng C, Wu L, Zhao Y, et al. Tea saponin reduces the damage of *Ectropis obliqua* to tea crops, and exerts reduced effects on the spiders *Ebrechtella tricuspidata* and *Evarcha albaria* compared to chemical insecticides [J]. *PeerJ*, 2018, 6: e4534.
- Zhang G, Yuan Z, Zhang C, et al. Detecting deep divergence in seventeen populations of tea geometrid (*Ectropis obliqua* Prout) in China by COI mtDNA and cross-breeding [J]. *PLoS ONE*, 2014, 9 (6): e99373.
- Zhang SQ, Feng BW, Zhang J, et al. Research progress on green control techniques of *Ectropis grisescens* Warren and *Ectropis obliqua* Prout [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2020, 42 (5): 1121–1138. [张帅琪, 冯博文, 张婧, 等. 灰茶尺蠖和茶尺蠖绿色防控技术研究进展 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (5): 1121–1138]
- Zhang ZQ, Bian L, Sun XL, et al. Electrophysiological and behavioural responses of the tea geometrid *Ectropis obliqua* (Lepidoptera: Geometridae) to volatiles from a non-host plant, rosemary, *Rosmarinus officinalis* (Lamiaceae) [J]. *Pest Management Science*, 2015, 71 (1): 96–104.
- Zhao ZD, Li JH, Liang T, et al. Differences in field control efficacy treated with two concentrations of bifenthrin, deltamethrin, chlorfenapyr in tea plantations [J]. *Agrochemicals*, 2019, 58 (2): 130–135. [赵之德, 李嘉慧, 梁涛, 等. 联苯菊酯、溴氰菊酯、虫螨腈对茶园害虫的田间防效 [J]. 农药, 2019, 58 (2): 130–135]
- Zhou TF, Huang HT. The pesticide resistance of *Ectropis obliqua* hypulina in northwest Zhejiang tea fields [J]. *Journal of Tea*, 2015, 41 (4): 204–206. [周铁锋, 黄海涛. 浙西北茶区茶尺蠖对联苯菊酯等药剂抗药性初步测定 [J]. 茶叶, 2015, 41 (4): 204–206]
- Zhou XG, Tang P, Wu Q, et al. Identification of two common larval parasitic wasps of *Ectropis obliqua* and *Ectropis grisescens* (Lepidoptera: Geometridae) [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2023, 39 (1): 1–9. [周孝贵, 唐璞, 吴琼, 等. 茶尺蠖和灰茶尺蠖幼虫两种共有寄生蜂的鉴定 [J]. 中国生物防治学报, 2023, 39 (1): 1–9]