

DOI: 10.5846/stxb201904030652

王彦苏, 韩善捷, 韩宝瑜. 盛夏西湖龙井茶园色板诱杀的昆虫类群的组成及其趋色性差异. 生态学报, 2020, 40(19): 7093-7103.

Wang Y S, Han S J, Han B Y. Difference in phototaxis of insect groups and their community composition trapped on sticky colored boards in Xihu Longjing tea plantations in the midsummer. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(19): 7093-7103.

盛夏西湖龙井茶园色板诱杀的昆虫类群的组成及其趋色性差异

王彦苏, 韩善捷, 韩宝瑜*

中国计量大学生命科学学院/浙江省生物计量及检验检疫技术重点实验室, 杭州 310018

摘要: 探讨减免施药, 代之以诱虫板有效诱杀西湖龙井茶园重要害虫, 并避免误伤天敌。遂选一大片西湖龙井茶园, 于茶园昆虫类群繁盛的 7 月下旬, 连续 72 h 用芽绿和素馨黄等 12 种诱虫板诱捕昆虫, 解析被捕昆虫的类群组成及其趋色性差异。结果: (1) 捕获 253870 头昆虫, 隶属于 147 种 57 科 8 目, 半翅目、膜翅目和双翅目是优势类群, 依次占总个体数的 98.8%、0.6% 和 0.5%; 害虫、天敌和中性昆虫种数分别为 61、54 和 32; (2) 黑刺粉虱和茶小绿叶蝉占总个体数 94.1% 和 2.0%; (3) 平均每块芽绿、素馨黄色板诱捕茶小绿叶蝉和黑刺粉虱分别是 86 头和 10410 头; (4) 平均每块墨绿、桃红、天蓝、湖蓝、紫色和纯白色板诱杀的个体数 < 400、诱杀的种数 ≤ 10、天敌/害虫个体数之比在 1/10 和 1/40 之间, 被捕昆虫的群落多样性指数 $H' > 1.0$; 平均每块大红、果绿色板诱杀的个体数 > 450 且 < 800、诱杀的种数 > 9 且 < 10、天敌/害虫个体数之比值介于 1/85 和 1/45 间, $0.5 < H' < 0.7$; 平均每块桔黄、土黄、芽绿和素馨黄色板诱杀的个体数 > 3700 头、诱捕的种数 ≥ 10、天敌/害虫个体数之比 < 1/100, 多样性指数 $H' < 0.5$; (5) 芽绿、素馨黄、土黄和桔黄诱杀害虫个体数极显著大于其它 8 种色板诱杀的害虫个体数。认为: 在西湖龙井茶园盛夏 3 日就可诱杀极多昆虫, 既说明茶园昆虫种类多且个体数大, 又揭示茶园优势种害虫茶小绿叶蝉和黑刺粉虱具有显著趋黄绿色习性, 可分别使用芽绿、素馨黄色板诱杀之, 还能尽量减少天敌和中性昆虫被误杀, 部分地替代化学防治。

关键词: 盛夏; 西湖龙井茶园; 优势种害虫; 趋色性; 诱杀

Difference in phototaxis of insect groups and their community composition trapped on sticky colored boards in Xihu Longjing tea plantations in the midsummer

WANG Yansu, HAN Shanjie, HAN Baoyu*

Zhejiang Provincial Key Laboratory of Biometrology and Inspection & Quarantine, College of Life Sciences of China Jiliang University, Hangzhou 310018, China

Abstract: In order to reduce spraying insecticides and protect natural enemies, an environmentally sound alternative approach using sticky colored boards for trapping important insect pests in tea plantations was being investigated. In current study, a large tea plantation in the Xihulongjing Tea original production place was chosen during the pest abundant midsummer, in which 12 colors of sticky boards including bud green and jasmine yellow were set up to trap various insects in successional 72 h in late July. Both community composition of trapped insect groups and their difference in phototaxis were analyzed. Our field trapping results are listed below. ① In total of 253870 individuals of 147 insect species, belonging to 57 families of 8 orders, were captured. Among which, Hemiptera, Hymenoptera and Diptera were the dominant groups,

基金项目: 国家重点研究发展计划项目 (2018YFC1604402); 浙江省自然科学基金项目 (LY17C140002); 浙江省基础公益研究计划项目 (LGN18C160006)

收稿日期: 2019-04-03; 网络出版日期: 2020-04-30

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: han-insect@263.net

accounting for 98.8%, 0.6% and 0.5% of the total individuals captured, respectively. The captured insect community composition included 61 species of pests, 54 species of beneficial insects and 32 species of neutral insects. ② The citrus spiny whitefly and the tea green leafhopper were the two most dominant pest species, accounting for 94.1% and 2.0% of the total captured insect individuals, respectively. ③ On average, 10410 citrus spiny whiteflies and 86 tea green leafhoppers were caught per jasmine yellow (or bud green) board, respectively. ④ The average numbers of insect individuals caught on the dark green, peach red, sky blue, lake blue, purple, and pure white sticky boards were all less than 400, with their average numbers of insect species being less than or equal to 10, their beneficial/pest ratios (of captured individuals) being between 1/10 and 1/40, and their diversity indices H' of captured insect groups being over 1.0. The average numbers of individuals caught on bright red and apple green boards ranged from 450 to 800 with their average numbers of insect species being 9—10, their beneficial/pest ratios being 1/85 to 1/45, and H' being 0.5—0.7. On the orange, earth yellow, bud green and jasmine yellow sticky boards, the average numbers of insect individuals captured were >3700, and their average numbers of insect species captured were greater than or equal to 10, their beneficial/pest ratios were <1/100, and their diversity indices H' were <0.5. ⑤ The orange, earth yellow, jasmine yellow, and bud green sticky boards caught significantly more pest individuals than did the other eight colored boards. In the current study, a large number of insects were captured on the sticky colored boards in the Xihulongjing tea plantation during only three days in the midsummer, indicating the existence of a diverse insect community with abundant individuals that showed a significant positive phototaxis to yellow and green. The bud green and jasmine yellow sticky boards might be used to attract and kill the tea green leafhoppers and the citrus spiny whiteflies, and could partially replace insecticides with little negative impacts on natural enemies and neutral insects.

Key Words: midsummer; Xihulongjing tea plantation; dominant pest species; phototaxis; attract and kill

西湖龙井茶是我国传统十大名茶之一,原产地就是杭州地区,产区茶-林结合,生物多样性丰富。但是,茶园肥配水平高,茶梢持嫩性强,主要采用施药治理病虫,施药剂量较大、次数也较多。茶小绿叶蝉 *Empoasca flavescens* F.、黑刺粉虱 *Aleurocanthus spiniferus* (Quaintance) 等为害严重,每年分别施药 15—20 余次、2—3 次。多年以来施药治虫已致茶小绿叶蝉^[1]等产生严重抗药性。20 世纪 90 年代末以来,该茶区推行无公害防治,诱虫板作为主要手段之一。研究表明,琥珀黄色彩显著引诱假眼小绿叶蝉^[2],柠檬黄色纸强烈地引诱茶尺蠖 *Ectropis oblique* Prout 一龄幼虫^[3],黄色较强地引诱黑刺粉虱和三轮蓟马 *Dendrothrips minowai* Priesner,黄绿色或黄色粘板较强地诱杀茶小绿叶蝉 *Jacobiasca formosana* Paoli^[4],在茶园中广翅蜡蝉类 *Ricania* spp. 成虫趋向于黄色饱和度高的色板^[5],而芽绿色对假眼小绿叶蝉引诱力较强,素馨黄对黑刺粉虱成虫引诱力较强^[6]。桑白蚧 *Pseudaulacaspis pentagona* (Targioni) 于 1990 年至 2010 年在日本茶园中一度猖獗,黄色粘虫板被用于监测和诱捕成虫^[7]。黑刺粉虱则于 2004—2014 年在日本茶园和桔园中持续爆发,日本国立蔬菜和茶叶研究所、京都府立大学等研发机构和诸多茶叶公司将其作为入侵生物进行防治,将黄色诱虫板作为防治手段之一^[8]。粘性诱虫色板上附加引诱害虫的茶梢信息物质,还可强化诱虫板对于假眼小绿叶蝉^[9]、或茶蚜^[10]的诱捕力;若是在无粘性色板上附着互利素,则可叠加色彩和互利素对茶尺蠖绒茧蜂 *Apanteles* sp. 和单白绵绒茧蜂 *Apanteles* sp. 等天敌昆虫的引诱力^[11-12]。随着研发工作的推进,近些年来黄色诱虫板较大面积地用于诱杀茶园害虫。

但是诱杀过程中也发现这种黄色诱虫板对茶小绿叶蝉的防效有时不佳,原因是该叶蝉世代重叠严重,卵、若虫和成虫虫态并存于茶园中,若虫跳跃力很差,几乎不被诱捕;而且,黄色诱虫板在诱杀害虫时,误杀了许多天敌昆虫。如何提高茶小绿叶蝉的诱杀效果? 有哪些种类的天敌被诱虫板误杀了? 占多少比例? 哪种色彩诱虫板诱杀害虫效能高? 哪种色彩误杀天敌效能低? 迄今对此缺乏深入探讨。

本研究组于初秋(10 月 9—12 日)^[13]在浙江省绍兴和杭州、深秋(11 月 15—19 日)^[14]在江苏省丹阳分别

研究了 10 种和 12 种色彩对于茶园昆虫的引诱效应,发现在不同季节内不仅诱杀的茶小绿叶蝉等主要害虫数量有明显差异,而且误杀的天敌昆虫种类和数量差异显著。对于蓝莓重要害虫酸果蔓花象 *Anthonomus musculus* Say 的诱捕也发现,在夏季其第二代成虫盛期适逢蓝莓花期,诱效较好,而且黄板诱效显著优于白、绿、红、蓝、灰和黑色诱虫板^[15]。盛夏期间茶园害虫群落、天敌群落都很繁荣,虫害也很猖獗,为了探讨以诱虫板有效诱杀害虫并尽量减少对于天敌的误杀,遂于 7 月 26—29 日选杭州市梅家坞村一片无公害茶园,以常用的 12 种色彩^[14]诱虫板诱杀各类昆虫,此时正值茶小绿叶蝉第 1 个虫口高峰盛末期、黑刺粉虱第 2 代成虫羽化始盛期,解析:(1)在盛夏茶园中被诱捕昆虫的群落组成;(2)评估诱杀优势种害虫茶小绿叶蝉和黑刺粉虱的适宜色彩;(3)多种色彩诱杀的益、害虫种数和个体数的差别。期望为西湖龙井茶园害虫绿色防控提供参考。

1 材料和方法

1.1 诱虫色板

12 种色彩的诱虫板质地皆为铜板纸,尺寸 40 cm × 20 cm,各种色板亮度 L 和色度坐标 a 、 b 同参考文献 14,由浙江大学彩印厂印制。在每块板的两面均匀地涂布无色无味昆虫胶,贴上防粘纸,用于田间诱杀。每种色彩包含 10 块色板。

1.2 诱杀过程

7 月 26 日 9:30—12:30 选用杭州市梅家坞村一片无公害茶园,茶树品种是龙井群体种,树龄 30 年,行距 1.5 m,株距 33 cm,树高 95—100 cm,树幅宽 115—120 cm。近些年来每年施用吡虫啉、联苯菊酯等化学农药 10—15 次,还喷施苦参碱、印楝素等植物源农药 3—5 次,防治茶小绿叶蝉、黑刺粉虱、茶尺蠖和茶蚜等害虫。一般在 3 月中下旬开始采茶,4 月下旬—5 月上旬茶蚜形成第 1 个虫口高峰;4 月下旬始见第 1 代茶尺蠖,以后每月 1 代;黑刺粉虱越冬代种群在 4 月上旬出现羽化盛期,茶小绿叶蝉在 5 月下旬—7 月出现第 1 个虫口高峰。在 7 月 26 日之前,茶农们已喷施 2 次吡虫啉农药(安徽华星化工有限公司产品,吡虫啉含量 10%,1500 倍喷雾)、2 次联苯菊酯(常州润辰商贸有限公司产品,联苯菊酯含量 95%,1500 倍喷雾)和 2 次印楝素(西安瑞盈生物科技有限公司产品,有效成分印楝素含量为 5%,1000 倍喷雾)。

将 12 种诱虫板撕去防粘纸,挂于竹杆上,竹杆插入茶行之中,使色板底边略高于茶梢,色板相互间距 20 m × 20 m。24 h 后将每块色板旋转 90°,72 h 后调查色板两面诱捕的各种昆虫,鉴定至目、科和种,统计每种个体数。试验期间天气晴朗,微风,温度 25℃—38℃、湿度 45%—90%。

1.3 统计分析

(1)用如下群落多样性指数公式计算每种色板诱捕的昆虫群落多样性指数 H' ,以比较多种色彩之间诱杀昆虫的多样性和偏向性,

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

式中, H' 为多样性指数, s 为被诱捕的物种数, P_i 为被诱捕的第 i 物种个体数占被总诱捕个体数的百分率

(2)统计每种诱虫色板诱捕的各目、各科昆虫的种数和个体数及其所占百分比,分析被捕昆虫的群落组成,查明主要害虫和优势种天敌昆虫。

(3)分析每种色板上被捕昆虫的群落结构,依据每种色板上被捕昆虫群落的种数、个体数和多样性指数、害虫/天敌个体数之比,评价每种色板诱杀害虫和误伤天敌和中性昆虫效能的强弱、及其适用于防治的害虫类群,查明 12 种色板中适宜于诱杀茶小绿叶蝉、黑刺粉虱的类型。先用单因素方差分析解析各种差异的显著性,再以 Duncan's 新复极差法检测各种差异的显著性水平。

2 结果与分析

2.1 盛夏西湖龙井茶园中各种色板诱捕的重要害虫和优势种天敌种类

色板诱杀的优势种害虫是茶小绿叶蝉和黑刺粉虱,分别占总个体数 2.0% 和 94.1%(表 1)。诱杀的重要

害虫还有茶尺蠖、茶蚜、茶梢蛾 *Parametriotes theae* Kusnetzov、茶细蛾 *Caloptilia theivora* Walsingham、绿盲蝽 *Lygocoris lucorum* (Meyer-Dür)、茶小卷叶蛾 *Adoxophyes orana* Fischer von Roslerstamm 和潜叶蝇类害虫。

各色诱虫板误杀的重要天敌的种类也较多,捕食性天敌昆虫有异色瓢虫十九斑变种 *Leis axyridis* (Pallas) var. *novemdecimpunctata* Faldermaenn、显现变种 *Leis axyridis* (Pallas) var. *conspicua* Faldermaenn、显明变种 *Leis axyridis* (Pallas) var. *spectabilis* Faldermaenn 和二斑变型 *Leis axyridis* (Pallas) ab. *bimaculata* Hemmelmann, 中华草蛉 *Chrysopa sinica* Tjeda, 大草蛉 *Chrysopa septempunctata* Wesmeal, 丽草蛉 *Chrysopa formosa* Brannan, 伞裙追寄蝇 *Exorista civilis* Rondani, 蚕饰腹寄蝇 *Crossocosmia zebina* Walk, 家蚕追寄蝇 *Exorista sorbillans* Wiedemann, 大灰食蚜蝇 *Syrphus corolla* F., 四条食蚜蝇 *Paraquus quadifasciatus* Meigen, 门氏食蚜蝇 *Sphaerophoria menthastri* L., 黑带食蚜蝇 *Syrphus balteatus* De Geer, 狭带食蚜蝇 *Syrphus serarius* Wiedemann, 食蚜斑腹蝇 *Leucopis puncticornis* Meigen, 黑肩绿盲蝽 *Cyrtorrhinus lividipennis* Reuter; 寄生性天敌昆虫为单白绵绒茧蜂 *Apanteles* sp., 茶尺蠖绒茧蜂 *Apanteles* sp., 螟蛉悬茧姬蜂 *Charops bicolor* Szepligeti, 花胸姬蜂 *Gotra octocinctus* (Ashmead), 野蚕黑瘤姬蜂 *Coccygomimus luctuosus* Smith, 螟蛉瘤姬蜂 *Itopectis naranyae* (Ashmead), 螟蛉绒茧蜂 *Apanteles ruficrus* (Haliday), 蚜茧蜂 *Aphidius* sp., 刺粉虱黑蜂 *Amitus hesperidum* Silvertri, 叶蝉三棒缨小蜂 *Stethynium empoasca* Subba Rao, 微小裂骨缨小蜂 *Schizophragma parvula* Ogloblin。

2.2 盛夏西湖龙井茶园中 12 种色板诱捕的昆虫群落的基本组成

这 12 种色板诱捕了 61 种害虫、54 种天敌昆虫和 32 种中性昆虫,包含了半翅目、膜翅目、双翅目、鳞翅目、脉翅目、鞘翅目、直翅目和蜉蝣目 8 个目的昆虫,其个体数分别为 250766 头、1553 头、1239 头、179 头、76 头、55 头、1 头和 1 头,共 253870 头,隶属于 57 科的 147 种。半翅目、膜翅目、双翅目和鳞翅目为优势类群,分别占总个体数 98.8%、0.6% 和 0.5% (表 1)。

半翅目共有 6 种,之所以个体数极大,是因为黑刺粉虱个体数很大,7 月底是黑刺粉虱第 2 代成虫羽化始盛期。被诱捕的粉虱害虫主要是黑刺粉虱,还有极少量的柑橘粉虱 *Dialeurodes citri* Ashmead。素馨黄诱虫板诱捕了这两种粉虱 104102 头、芽绿板捕了 42402 头、土黄板捕 41112 头、橘黄板捕 36401 头、果绿板捕 7231 头、大黑板捕 4001 头、纯白板捕 2911 头、紫色板捕 2355 头、湖蓝板捕 1489 头、桃红板捕 1050 头、天蓝板捕 1011 头、墨绿板捕了 809 头。黑粉粉虱嗜好黄绿色,亮度高的色板诱杀的粉虱个体数较多,墨绿色板亮度低,诱捕的粉虱个体数很少。

膜翅目有 13 个科,除了资源昆虫蜜蜂科、害虫树蜂科 2 个科之外,其余 11 科都是天敌昆虫。双翅目 18 个科,其中食蚜蝇科和寄生蝇科含有大量天敌,潜蝇科和黄潜蝇科包含数种茶树上的潜叶蝇类害虫,其余种类虽然较多,但多是中性昆虫。鳞翅目 9 个科,除了鹿蛾科的茶鹿蛾 *Amata germana* (Felder)、尺蠖蛾科的茶尺蠖以及尖翅蛾科的茶梢蛾 *Parametriotes theae* Kuz. 之外,其余鳞翅目昆虫都不是茶树害虫,都是从其它林木和作物转到茶园的。鞘翅目含有 8 个科,除了瓢甲科之外,其余都是害虫。茶园中有 3 种草蛉类,个体数量也较多。直翅目和蜉蝣目种数和个体数甚少(表 1)。

2.3 12 种色板诱捕黑刺粉虱和茶小绿叶蝉效能的差异显著

12 种诱虫板对于茶园中 2 种优势种害虫诱捕效能差异很大,桔黄、土黄、芽绿和素馨黄诱虫板诱捕的黑刺粉虱或茶小绿叶蝉个体数分别显著地大于其它色板诱捕的黑刺粉虱或茶小绿叶蝉个体数。素馨黄色板诱捕的黑刺粉虱数量极大,芽绿色板诱捕的茶小绿叶蝉数量显著地大于其它色板诱捕的茶小绿叶蝉数(表 2)。

2.4 基于诱捕昆虫群落结构的 12 种诱虫色板的诱杀效能归类

2.4.1 据被捕昆虫的群落特征值而将 12 种色彩归为 3 种类型

色彩对于各种昆虫的引诱力有着显著差异,依据以下 3 个指标将 12 种色彩分为 3 种类型,即(1)诱杀的个体数;(2)诱捕的种类数;(3)诱捕昆虫的群落多样性指数(表 3):

第一种类型:墨绿、桃红、天蓝、湖蓝、紫色、纯白,平均每块色板诱杀的个体数 < 400,平均每板诱杀的种数 ≤ 10;诱捕昆虫群落的多样性指数 $H' > 1$ 。

Table 1 Richness and abundance of various insects trapped on twelve types of sticky colored boards in a non-pollution tea plantation of Meijiawu Village in Hangzhou City

目名 Order name	科名 Family name	桃红 Peach red	天蓝 Sky blue		果绿 Apple green		素馨黄 Jasmine yellow		湖蓝 Lake blue		墨绿 Dark green		纯白 Pure white		土黄 Earth yellow		芽绿 Bud green		桔黄 Orange		大红 Bright red		紫色 Purple		
			个数 SN	个数 IN	个数 SN	个数 IN	个数 SN	个数 IN	个数 SN	个数 IN	个数 SN	个数 IN	个数 SN	个数 IN	个数 SN	个数 IN	个数 SN	个数 IN	个数 SN	个数 IN	个数 SN	个数 IN	个数 SN	个数 IN	
半翅目 Hemiptera	叶蝉科 Cicadellidae	1	266	1	282	1	482	1	642	1	270	1	239	1	292	1	482	1	863	1	476	1	396	1	352
	蚜科 Aphididae	1	3			1	45	1	154							1	131	1	390	1	67		1	4	
	粉虱科 Aleyrodidae	2	1050	2	1011	2	7231	2	104102	2	1489	2	809	2	2911	2	41112	3	42402	2	36401	2	4001	2	2355
	蜡蝉科 Fulgoridae					3	8	1	10	1	2	1	2	1	2	1	2	3	15	1	4	1	3	1	2
	盲蝽科 Miridae					3	5							1	1				1	1					
	小计及其百分比	4	1319	3	1293	10	7771	5	104908	4	1761	4	1050	5	3205	5	41727	8	43670	6	36949	4	4400	5	2713
	Subtotal and percentage	8.5	91.6	6.0	90.0	20.4	98.3	7.4	99.7	9.8	85.3	7.1	85.7	8.1	89.8	9.1	98.9	15.7	99.2	11.5	99.3	7.4	96.6	9.6	90.6
	鞘翅目 Coleoptera	瓢甲科 Coccinellidae	1	1			1	2	3	3			2	2	1	2	3	3		2	2	3		1	1
		叶甲科 Chrysomelidae	1	1	1	1	1	3			1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	3	
伪叶甲科 Lagriidae									1	2															
拟步甲科 Tenebrionidae																1	2								
肖叶甲科 Eumolpidae						2	2									1	1								
金龟甲科 Scarabaeidae						2	3	4	8																
露尾甲科 Nitidulidae																					1	1			
花萤科 Cantharidae																				1	1				
小计及其百分比		2	2	1	1	6	10	7	11	2	4	4	4	3	4	7	8	1	1	4	5	2	4	1	1
Subtotal and percentage		4.3	0.1	2.0	0.1	12.3	0.1	10.3	0.0	3.8	0.2	7.1	0.3	4.8	0.1	12.7	0.0	2.0	0.0	7.7	0.0	3.7	0.1	1.9	0.0
脉翅目 Choroneura		草蛉科 Chrysopidae	3	4	2	2	3	6	3	9	2	5	3	8	3	3	3	7		3	12	3	7	3	7

续表

目名 Order name	科名 Family name	桃红		天蓝		果绿		素馨黄		湖蓝		墨绿		纯白		土黄		芽绿		桔黄		大红		紫色	
		Peach red		Sky blue		Apple green		Jasmine yellow		Lake blue		Dark green		Pure white		Earth yellow		Bud green		Orange		Bright red		Purple	
		个数	种数	个数	种数	个数	种数	个数	种数	个数	种数	个数	种数	个数	种数	个数	种数	个数	种数	个数	种数	个数	种数	个数	种数
双翅目 Diptera	蚊科 Culicidae	2	3															2	2						
	麻蝇科 Sarcophagidae																								
	实蝇科 Trypetidae																								
	大蚊科 Tipulidae	1	1	1	1			1	2														1	1	
	寄蝇科 Tachinidae	6	23	5	27	4	31	6	30	7	34	7	41	11	60	6	89	4	99	7	80	8	57	10	79
	花蝇科 Anthomyiidae	2	9	3	12			2	8			2	4			1	2			1	8	1	6		
	丽蝇科 Calliphoridae	1	5	1	1	2	2	2	12					1	2	2	2	2	5			2	6	1	2
	蝇科 Muscidae	3	12	4	11	2	3			4	11	2	7	1	2	3	7	2	15	1	4	4	14	2	7
	潜蝇科 Agromyzidae	2	13	4	20	1	1	3	16			2	4												
	粪蝇科 Scatopsidae																								
	茎蝇科 Psilidae											1	2												
	蠓科 Ceratopogonidae									3	4	2	3			1	2								
	果蝇科 Drosophilidae	2	7	3	11			3	23																
	禾蝇科 Opomyzidae	1	3					2	7																
	黄潜蝇科 Chloropidae			4	16			3	10			2	6												
	圆头蝇科 Dryomyzidae			3	8			3	11																

续表

目名 Order name	科名 Family name	桃红 Peach red		天蓝 Sky blue		果绿 Apple green		素馨黄 Jasmine yellow		湖蓝 Lake blue		墨绿 Dark green		纯白 Pure white		土黄 Earth yellow		芽绿 Bud green		桔黄 Orange		大红 Bright red		紫色 Purple	
		个数		个数		个数		个数		个数		个数		个数		个数		个数		个数		个数		个数	
		SN	IN	SN	IN	SN	IN	SN	IN	SN	IN	SN	IN	SN	IN	SN	IN	SN	IN	SN	IN	SN	IN	SN	IN
鳞翅目 Lepidoptera	虻科 Tabanidae	1	1							2	2										2	4			
	食蚜蝇科 Syrphidae	4	6	4	6	1	2	1	2	4	15			4	6	3	3			3	4	4	9	5	18
	小计及其百分比	25	83	39	135	12	49	30	138	29	92	29	86	24	81	18	111	13	134	18	116	23	99	22	115
	Subtotal and percentage	53.2	5.8	78.0	9.4	24.5	0.6	44.1	0.1	56.9	4.5	51.8	7.1	38.7	2.3	32.7	0.3	25.5	0.3	34.7	0.3	42.6	2.2	42.3	3.9
	夜蛾科 Noctuidae			1	1	1	1	2	3	2	2	4	5	1	2	2	5	1	1		2	2	4	8	
	卷叶蛾科 Tortricidae			1	2	2	2	4				2	3	1	2	2	3	2	6	1	1	2	4	1	2
	鹿蛾科 Amatidae	1	4			1	7	1	5	1	8	1	2	1	27	1	1	1	1		1	2	1	7	
	弄蝶科 Hesperiidae	1	1					1	1	1	1			1	1								1	1	
	尖翅蛾科 Cosmopterigidae																1	2	1	1					
	螟蛾科 Pyralidae	2	2	2	2	1	1	2	3	1	1	2	4	2	3	1	2	1	1	1	1	3	6		
膜翅目 Hymenoptera	尺蛾科 Geometridae	1	2	1	1			2	2	1	1			1	2						1	2			
	菜蛾科 Plutellidae					1	2	1	1			1	1			1	1	1	3		1	1			
	麦蛾科 Gelechiidae																	1	3						
	小计及其百分比	5	9	5	6	6	13	11	19	6	13	10	15	7	37	8	14	8	16	2	2	10	17	7	18
	Subtotal and percentage	10.6	0.6	10.0	0.4	12.2	0.2	16.2	0.0	11.8	0.6	17.9	1.2	11.3	1.0	14.5	0.0	15.7	0.0	3.8	0.0	18.5	0.4	13.5	0.6
	小蜂科 Chalcidoidea											1	1	4	15	1	1	3	9	2	3	1	1	2	3
	蚜小蜂科 Aphelinidae																	1	40	1	10				
	金小蜂科 Pteromalidae					1	10																	1	4
	蜜蜂科 Apidae	1	2			1	1	1	1	1	1	6		1	1										

续表

目名 Order name	科名 Family name	桃红 Peach red		天蓝 Sky blue		果绿 Apple green		素馨黄 Jasmine yellow		湖蓝 Lake blue		墨绿 Dark green		纯白 Pure white		土黄 Earth yellow		芽绿 Bud green		桔黄 Orange		大红 Bright red		紫色 Purple	
		种数		种数		种数		种数		种数		种数		种数		种数		种数		种数		种数		种数	
		IN	SN	IN	SN	IN	SN	IN	SN	IN	SN	IN	SN	IN	SN	IN	SN	IN	SN	IN	SN	IN	SN	IN	SN
蜉蝣目 Ephemeroptera	姬蜂科 Ichneumonidae	2	2			2	3	1	1	1	1	1	1	2	2	5	12	3	8	4	7	3	5	3	4
	茧蜂科 Braconidae	3	8			4	13	3	6	1	1	1	1	6	12	5	22	5	19	4	10	3	6	2	2
	缨小蜂科 Mymaridae	2	11			2	25	2	177	2	179	2	56	2	198	2	277	2	121	2	77	1	2	121	
	黑卵蜂科 Scelionidae					1	1	1	1					1	1	2	6	2	6	2	4	2	2		
	寡节小蜂科 Eulophidae					1	2							4	9			2	3		1	4			
	广肩小蜂科 Eurytomidae									1	1							1	3						
	叶蜂科 Tenthredinidae											1	2							2	3	2	3		
	胡蜂科 Vespidae							2	2									1	1	1	1			3	5
	螺螄科 Eumenidae							1	1										1	1					
	小计及其百分比	8	23	0	0	12	55	11	189	6	188	6	61	20	238	14	313	21	211	17	114	12	22	13	139
Subtotal and percentage	17.0	1.6	0.0	0.0	24.5	0.7	16.1	0.2	11.8	9.1	10.7	5.0	32.3	6.7	25.5	0.8	41.1	0.5	32.7	0.3	22.2	0.5	25.0	4.6	
蜉蝣目 Ephemeroptera	浮游科 Ephemeridae																			1	1				
	小计及其百分比	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	
	Subtotal and percentage	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	
	蟋蟀科							1	1																
	Orthoptera	Gryllidae	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	小计及其百分比	0	0	0	0	0	0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
	Subtotal and percentage	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
	合计及其百分比	47	1440	50	1437	49	7904	68	105275	50	2064	56	1225	62	3568	55	42180	51	44032	52	37201	54	4549	52	2995
	Total and percentage	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

表中每类被捕捉昆虫个体数是指 10 块色板上捕获的个体数总和;SN: 物种数 Species number; IN: 个体数 Individual number

表 2 12 种诱虫板的平均每块板诱捕粉虱类和茶小绿叶蝉的个体数及差异性

Table 2 Difference in averages of whiteflies or tea green leafhoppers trapped on twelve types of sticky colored boards

色彩 Color	平均每块板诱捕的黑刺粉虱数± 标准差以及差异性 Average±SD of leafhopper tapped on colored board as well as difference	平均每块板诱捕的茶小绿叶蝉数± 标准差及差异性 Average±SD of leafhopper tapped on colored board as well as difference
墨绿 Dark green	81 ± 11d	24 ± 3f
桃红 Peach red	105 ± 13c	27 ± 3ef
天蓝 Sky blue	101 ± 15c	28 ± 3ef
湖蓝 Lake blue	149 ± 18c	27 ± 3ef
紫色 Purple	236 ± 26c	35 ± 4de
纯白 Pure white	291 ± 32c	29 ± 4ef
大红 Bright red	400 ± 51c	40 ± 4cd
果绿 Apple green	723 ± 89c	48 ± 5c
桔黄 Orange	3640 ± 410b	48 ± 5c
土黄 Earth yellow	4111 ± 423b	48 ± 6c
芽绿 Bud green	4240 ± 460b	86 ± 10a
素馨黄 Jasmine yellow	10410 ± 1037a	64 ± 8b

表中每类被捕昆虫个体数是指 10 块色板上捕获的其个体数总和;同一列中,带有不同小写字母的数值之间的差异达显著水平 ($P<0.05$),带有不同大写字母的数值之间的差异达极显著水平 ($P<0.01$)

第二种类型:大红、果绿,平均每块色板诱杀的个体数在 450 和 800 之间,平均每板诱杀的种数介于 9 和 10 之间;诱捕昆虫群落的多样性指数 H' 在 0.5 和 0.7 之间。

第三种类型:桔黄、土黄、芽绿、素馨黄,平均每块色板诱杀的个体数 > 3700 头,平均每板诱杀的种数 ≥ 10 ; $H' < 0.5$ 。

可见,第三种类型色板诱杀的个体数很大,多样性指数 H' 就很低;与第三种类型色彩相比,第二种类型色彩诱捕的个体数极显著地减少,多样性指数 H' 增大;与第二种类型色彩相比,第一种类型色彩诱捕的个体数又明显地减少,多样性指数 H' 又明显地增大。

表 3 12 种色板上被捕昆虫的群落特征值

Table 3 An analysis on structure of insect communities trapped on twelve types of sticky colored boards

色彩 Color	平均每块色板诱捕的个体数± 标准差及色彩之间差异性 Average±SD of individuals trapped on coloured board as well as difference among tested colors	平均每块色板诱捕的种数± 标准差及色彩之间差异性 Average±SD of richness trapped on coloured board as well as difference among tested colors	多样性指数 H' Diversity indices H'
墨绿 Dark green	123±14c	8.2±1.6 de	1.5418
桃红 Peach red	144±15c	7.8±1.2e	1.2156
天蓝 Sky blue	144±19c	7.3±1.2e	1.2428
湖蓝 Lake blue	206±25c	8.4±1.9cde	1.2765
紫色 Purple	300±37c	10.0±1.2b	1.3099
纯白 Pure white	357±39c	10.0±0.9b	1.2388
大红 Bright red	455±41c	9.6±0.9bc	0.7040
果绿 Apple green	790±84c	9.5±1.0bcd	0.5560
桔黄 Orange	3720±392b	9.9±1.9b	0.2349
土黄 Earth yellow	4218±701b	10.9±1.4ab	0.4679
芽绿 Bud green	4403±748b	12.0±2.3a	0.3008
素馨黄 Jasmine yellow	10528±1039a	11.8±1.7a	0.1293

Duncan's 新复极差测验法被用于检验差异的显著性;同一列中,带有不同小写字母的数值之间的差异达显著水平 ($P < 0.05$),带有不同大写字母的数值之间的差异达极显著水平 ($P < 0.01$);重复 10 次

2.4.2 3 种色彩类型诱捕害虫和天敌及中性昆虫个体数之间的差异明显

第一种类型:墨绿、桃红、天蓝、湖蓝、紫色和纯白诱捕了较多的寄生蝇类和食蚜蝇类,天敌/害虫数量之比在 1/10 和 1/40 之间。第三种类型:桔黄色、土黄、芽绿和素馨黄板捕获了极多黑刺粉虱和茶小绿叶蝉等害虫,天敌/害虫数量之比很小,小于 1/100。第二种类型:果绿和大红色板上天敌/害虫数量之比值在 1/45 和 1/85 之间,介于第 1 种类型和第三种类型之间。素馨黄和芽绿色板诱捕的个体数最大,益/害个体数量比值最小(表 4)。

表 4 3 种色彩类型暨 12 种诱虫板诱杀的害虫和天敌及中性昆虫个数

Table 4 Individual number of pests and natural enemies and neutral insects attracted and killed by twelve colored sticky boards divided into three types

项目	墨绿 Dark green		桃红 Peach red		天蓝 Sky blue		湖蓝 Lake blue		紫色 Purple		纯白 Pure white	
	个数 IN	%	个数 IN	%	个数 IN	%	个数 IN	%	个数 IN	%	个数 IN	%
害虫 Pest	1089	88.90	1349	93.68	1376	95.76	1783	86.39	2735	91.32	3219	90.22
天敌 Natural enemy	112	9.14	56	3.89	39	2.71	248	12.01	257	8.58	330	9.25
中性昆虫 Neutral insect	24	1.96	35	2.43	22	1.53	33	1.60	3	0.10	19	0.53
天敌/害虫 Natural enemy/pest	1/10		1/24		1/35		1/7		1/11		1/10	
项目	大红 Bright red		果绿 Apple green		桔黄 Orange		土黄 Earth yellow		芽绿 Bud green		素馨黄 Jasmine yellow	
	个数 IN	%	个数 IN	%	个数 IN	%	个数 IN	%	个数 IN	%	个数 IN	%
害虫 Pest	4445	97.71	7803	98.72	36971	99.38	41749	98.98	43701	99.25	105010	99.75
天敌 Natural enemy	96	2.11	93	1.18	218	0.59	416	0.98	318	0.72	232	0.22
中性昆虫 Neutral insect	8	0.18	8	0.10	12	0.03	15	0.04	13	0.03	33	0.03
天敌/害虫 Natural enemy/pest	1/46		1/84		1/170		1/101		1/137		1/453	

IN: 个体数 Individual number

3 讨论

视觉在昆虫觅食、求偶、产卵和找寻庇护场所等行为中起到至关重要的作用^[16-19]。利用昆虫趋色性,本研究的 12 种色板在 7 月下旬 3 天内就诱捕了 147 种、25 万多个昆虫,既说明色板具有强大引诱力,又揭示了 7 月下旬茶园昆虫群落繁荣,害虫猖獗。本课题组在 2015 年^[20]、2016 年^[21]对于茶园昆虫群落的调查,也证明了茶园节肢动物群落丰富,生物多样性较大。本研究诱捕了 8 个目的昆虫,其中半翅目个体数占 98.8%,茶小绿叶蝉和粉虱类依次占总个体数 2.0%和 94.1%。7—8 月正值西湖龙井茶区采制高档次红茶的旺季,应强化对于优势种害虫茶小绿叶蝉和黑刺粉虱的无害化防控,可使用素馨黄色板诱杀黑刺粉虱第二代成虫、芽绿色板诱杀茶小绿叶蝉成虫。

与本组初秋时节(10 月 9—12 日)^[13]在绍兴和杭州、深秋时(11 月 15—19 日)^[14]在江苏丹阳县诱茶园昆虫的试验相比,本研究在盛夏的西湖龙井茶园,色诱了更多的种类和更大的个体数量,其中的一些就是各类天敌昆虫,包括了草蛉类、食蚜蝇类、寄生蝇类、瓢虫类、以及姬蜂类、茧蜂类、小蜂类和缨小蜂类,等等。这一时期的天敌资源也十分丰富,在实施防治措施过程中,应尽量避免对于它们的伤害,减少化学农药的使用。

当下茶园中使用的色板种类较多,如何避免误伤天敌?如何更有效地诱杀害虫?如何针对不用种类的害虫进行诱杀?本研究检测了 12 种色板,第一种类型色板包括了墨绿、桃红、天蓝、湖蓝、紫色和纯白,对于主要害虫粉虱类和茶小绿叶蝉诱捕数量少,捕获的天敌/害虫数量之比值较大,在 1/10 和 1/40 之间,尤其是诱捕较多的寄生蝇类和食蚜蝇类,不适于在杭州茶区推广。第二种类型是果绿和大红色板,诱杀的害虫个数明显增多,益/害比值也有明显减小,但是也不适合于茶园中应用。第三种类型色板即桔黄色、土黄、芽绿和素馨黄色板,诱杀了极多的粉虱类及茶小绿叶蝉等害虫,益/害比值很低,小于 1/100,亦即诱捕了 100 头害虫,还不

会误杀 1 头天敌昆虫,尤其是素馨黄和芽绿色板,二者对于粉虱、叶蝉和蚜虫都有很强的诱杀效能,适合于推广。有研究表明,高粱地中黄色粘板诱杀的橙色玉米叶蝉 *Cicadulina bipunctata* Melichar 和飞虱 *Laodelphax striatellus* Fallen 显著地多于蓝色粘板诱杀的叶蝉和飞虱,还使用黄色粘板监测了这两种害虫种群动态^[22]。

色板技术已被作为一种无公害手段而治理害虫^[23],在不同地区针对不同种类害虫使用适宜色彩的诱虫板。比如,在麦田中使用紫色粘板监测麦红吸浆虫成虫发生动态^[24],梨园中使用绿色粘板监测绿盲蝽 *Apolygus lucorum* (Meyer-Dür) 及其天敌的种群动态^[25]。Bian 等发现色彩引诱茶黄蓟马 *Scirtothrips dorsalis* Hood 和茶棍蓟马 *Dendrothrips minowai* Priesner,前者偏向草坪绿而后者偏向绿黄色^[26]。Wagan 等使用黄、绿、紫和黑 4 种诱虫粘板监测和诱杀秋葵上的白粉虱 *Bemisia tabaci* Genn. 和蓟马类害虫,发现黄色粘板显著优于其它 3 种色板,黄色粘板价廉、无污染,可以部分替代化学农药^[27]。Alim 等使用黄色粘板监测了有机柿子园和传统农药防治柿子园树冠的上、中、下层花上以及地表植被上 8 种蓟马密度的差异^[28]。

参考文献 (References):

- [1] 庄家祥,傅建炜,苏庆泉,李建宇,占志雄.福建省茶小绿叶蝉抗药性的地区差异.茶叶科学,2009,29(2):154-158.
- [2] 赵冬香,陈宗懋,程家安.假眼小绿叶蝉对不同颜色偏嗜性的研究.茶叶科学,2001,21(1):78-80,68-68.
- [3] 王勇,张汉鹄,邹运鼎.彩纸对茶尺蠖幼虫诱集效率的研究.植物保护学报,1991,18(2):177-180.
- [4] 萧素女.茶园中有色粘纸诱捕害虫之效果调查.台湾茶业研究汇报,1997,16:51-60.
- [5] 孙晓玲,蔡晓明,王国昌,高宇,王德强,陈宗懋.茶园中广翅蜡蝉成虫对不同颜色的趋向选择.茶叶科学,2011,31(2):95-99.
- [6] 向太红,韩宝瑜,周孝贵.四种粘板对茶园昆虫的引诱考查.茶叶科学,2007,27(3):253-258.
- [7] Kaneko S, Ozawa A, Saito T, Tataru A, Katayama H, Doi M. Relationship between the seasonal prevalence of the predacious coccinellid *Pseudoscymnus hareja* (Coleoptera: Coccinellidae) and the mulberry scale *Pseudaulacaspis pentagona* (Hemiptera: Diaspididae) in tea fields: Monitoring using sticky traps. Applied Entomology and Zoology, 2006, 41(4): 621-626.
- [8] Kanmiya K, Ueda S, Kasai A, Yamashita K, Sato Y, Yoshiyasu Y. Proposal of new specific status for tea-infesting populations of the nominal citrus spiny whitefly *Aleurocanthus spiniferus* (Homoptera: Aleyrodidae). Zootaxa, 2011, 2797(1): 25-44.
- [9] Mu D, Cui L, Ge J, Wang M X, Liu L F, Yu X P, Zhang Q H, Han B Y. Behavioral responses for evaluating the attractiveness of specific tea shoot volatiles to the tea green leafhopper, *Empoasca viuis*. Insect Science, 2012, 19(2): 229-238.
- [10] Han B Y, Zhang Q H, Byers J A. Attraction of the tea aphid, *Toxoptera aurantii*, to combinations of volatiles and colors related to tea plants. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2012, 144(3): 258-269.
- [11] 韩宝瑜,周鹏,付建玉,崔林.昆虫化学信息素诱集绒茧蜂控制茶尺蠖的研究.茶叶科学,2006,26(1):72-75.
- [12] 陈宗懋,韩宝瑜.茶园昆虫化学生态学研究回顾与展望.中国农业科学,2007,40(S1):207-212.
- [13] 林金丽,韩宝瑜,周孝贵,陈学好.色彩对茶园昆虫的引诱力.生态学报,2009,29(8):4303-4316.
- [14] 郑颖姣,钮羽群,崔桂玲,周宁宁,张新亭,王梦馨,崔林,郑雨婷,韩宝瑜.秋末苏南茶园昆虫的群落组成及其趋色性.生态学报,2013,33(16):5017-5025.
- [15] Silva D, Salamanca J, Kyryczenko-Roth V, Alborno H T, Rodriguez-Saona C. Comparison of trap types, placement, and colors for monitoring *Anthonomus musculus* (Coleoptera: Curculionidae) adults in highbush blueberries. Journal of Insect Science, 2018, 18(2): 19.
- [16] 陈宁生.视觉通讯//中国农业百科全书昆虫卷编辑委员会.中国农业百科全书·昆虫卷.北京:中国农业出版社,1990:362-363.
- [17] Fukaya M, Arakaki N, Yasui H, Wakamura S. Effect of colour on male orientation to female pheromone in the black chafer *Holotrichia loochooana loochooana*. Chemoecology, 2004, 14(3): 225-228.
- [18] Tang Y C, Zhou C L, Chen X M, Zheng H. Visual and olfactory responses of seven butterfly species during foraging. Journal of Insect Behavior, 2013, 26(3): 387-401.
- [19] 蔡晓明,李兆群,潘洪生,陆宴辉.植食性害虫食诱剂的研究与应用.中国生物防治学报,2018,34(1):8-35.
- [20] 潘铖,韩善捷,韩宝瑜.管理模式对 4 类茶园节肢动物群落时空格局和多样性影响.茶叶科学,2015,35(4):316-322.
- [21] 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.植物保护学报,2016,43(3):377-383.
- [22] Matsukura K, Yoshida K, Matsumura M. Efficient monitoring of maize orange leafhopper, *Cicadulina bipunctata* (Hemiptera: Cicadellidae), and small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* (Hemiptera: Delphacidae), in forage maize fields using yellow sticky traps. Applied Entomology and Zoology, 2011, 46(4): 585-591.
- [23] 韩宝瑜.色板防控技术//杨普云,赵中华.农作物病虫害绿色防控技术指南.北京:中国农业出版社,2012:97-99.
- [24] 黎丹,马晨,刘顺,武子清,何运转.不同色彩粘板对麦红吸浆虫成虫的诱集效果比较.植物保护学报,2012,39(5):390-394.
- [25] 郭晨茜,王璇,杨宇晖,刘小侠,张青文.北京梨园绿盲蝽及其天敌的种群动态.昆虫学报,2013,56(12):1516-1522.
- [26] Bian L, Yang P X, Yao Y J, Luo Z X, Cai X M, Chen Z M. Effect of trap color, height, and orientation on the capture of yellow and stick tea thrips (Thysanoptera: Thripidae) and nontarget insects in tea gardens. Journal of Economic Entomology, 2016, 109(3): 1241-1248.
- [27] Wagan T A, Dhaunroo A A, Jiskani W M, Sahito M H, Soomro A A, Lakho A B J, Wagan S A, Memon Q U A, Tunio S K. Evaluation of four color sticky traps for monitoring whitefly and thrips on okra crops at Tando Jam, Pakistan. Journal of Biology, Agriculture and Healthcare, 2017, 7(9): 12-15.
- [28] Alim M A, Song J, Seo H J, Choi J J. Monitoring thrips species with yellow sticky traps in astringent persimmon orchards in Korea. Applied Entomology and Zoology, 2018, 53(1): 75-84.