

茶园不同显花植物访花昆虫群落组成及优势种活动规律

张晓明 杨智斌 赵子华 陈 斌 杜广祖 陈国华*

(云南农业大学植物保护学院, 云南生物资源保护与利用国家重点实验室, 昆明 650201)

摘要 采用网捕和观察等方法, 调查茶园中 6 种不同种类显花植物上访花昆虫种类和停留时间, 分析不同显花植物上的访花昆虫优势种及其活动规律。结果表明: 秋海棠和四季海棠的访花昆虫分别有 7 目 25 科 31 种和 5 目 10 科 12 种, 两种花上双斑长跗萤叶甲 *Monolepta hieroglyphica* 和绿盲蝽 *Apolygus lucorum* 均为优势种; 鼠尾草的访花昆虫有 6 目 16 科 21 种, 长肩棘缘蝽 *Cletus trigonus* 为优势种; 黄金菊的访花昆虫有 7 目 26 科 34 种, 纤腰巴食蚜蝇 *Bacch maculata*、短角异斑腿蝗 *Xenocatantops brachycerus* 和南方长足虻 *Dolichopus meridionalis* 为优势种; 凤仙花的访花昆虫有 8 目 32 科 39 种, 黑褐举腹蚁 *Crematogaster rogenhoferi* 为优势种; 毛地黄的访花昆虫有 7 目 18 科 21 种, 短头熊蜂 *Bombus breviceps* 和南方长足虻为优势种。所有昆虫中以绿盲蝽和南方长足虻在毛地黄停留时间最长, 分别达 55.33 和 25.12 s · min⁻¹; 长肩棘缘蝽在黄金菊停留时间最长, 达 57.50 s · min⁻¹; 黑褐举腹蚁在凤仙花上的停留时间最长, 达 13.47 s · min⁻¹; 纤腰巴食蚜蝇在四季海棠停留时间最长, 达 58.33 s · min⁻¹; 短角异斑腿蝗在秋海棠上的停留时间最长, 为 58.26 s · min⁻¹。主要优势捕食性天敌纤腰巴食蚜蝇和南方长足虻在黄金菊上的访花比例(分别为 22.41% 和 13.32%) 和访花次数(分别为 3.60 次和 2.13 次)最高。黄金菊吸引的天敌昆虫种类最多, 优势种天敌昆虫停留时间较长。因此, 在茶园种植中, 可增加能够吸引更多天敌多样性的显花植物, 以促进自然控制害虫的作用。

关键词 优势种; 生态控制; 种群动态; 停留时间

Community composition and activity rhythm of dominant flower-visiting insects from different flowering plants in tea gardens. ZHANG Xiao-ming, YANG Zhi-bin, ZHAO Zi-hua, CHEN Bin, DU Guang-zu, CHEN Guo-hua* (College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, State Key Laboratory of Biological Resources Conservation and Utilization, Kunming 650201, China).

Abstract: In this study, we investigated species and residence time of flower-visiting insects on six different flowering plant species in a tea garden by catching with a net and observation. We analyzed the dominant species of visiting insects and their activities on different flowering plant species. The results showed that there were 31 species of flower-visiting insects belonging to 25 families and seven orders, 12 species belonging to 10 families and five orders on *Begonia grandis* and *Begonia semperflorens*, respectively. Both *Monolepta hieroglyphica* and *Apolygus lucorum* were the dominant species on these two plant species. There were 21 species of flower-visiting insects belonging to 16 families and six orders on *Salvia japonica*, with the dominant species being *Cletus trigonus*. There were 34 species of flower-visiting insects belonging to 26 families and seven orders on *Euryops pectinatus*, with the dominant species being *Bacch maculata*, *Xenocatantops brachycerus*, and *Dolichopus meridionalis*. There were 39 species of flower-visiting insects belonging to 32

云财教 2018 年 150#省科技计划第一批院士自由探索项目(A3030008855)和第十七批昆明市中青年学术技术后备人才项目(昆政发[2019]43 号)资助。

收稿日期: 2019-11-27 接受日期: 2020-04-10

* 通讯作者 E-mail: chenghkm@126.com

families and eight orders on *Impatiens balsamina*, with dominant species being *Crematogaster rogenhoferi*. There were 21 species of flower-visiting insects belonging to 18 families and 7 orders on *Digitalis purpurea*, and the dominant species were *Bombus breviceps* and *D. meridionalis*. *A. lucorum* and *D. meridionalis* had the longest residence time on *D. purpurea*, with residence time of 55.33 and 25.12 s · min⁻¹, respectively. *C. trigonus* had the longest residence time of 57.50 s · min⁻¹ on *E. pectinatus*. *C. rogenhoferi* had the longest residence time of 13.47 s · min⁻¹ on *I. balsamina*. *B. maculate* had the longest residence time of 58.33 s · min⁻¹ on *B. semperflorens*. *X. brachycerus* had the longest residence time of 58.26 s · min⁻¹ on *B. grandis*. The two dominant predators, *B. maculata* and *D. meridionalis*, had the highest proportion (22.41% and 13.32%, respectively) and frequency (3.60 times and 2.13 times, respectively) of visiting flowers on *E. pectinatus*. *E. pectinatus* attracted most species of natural enemy, with longer stay of the dominant natural enemy species than on other plant species. Therefore, we should increase the abundance of flowering plants that can attract more diversity of natural enemies to promote the role of natural pest control in tea gardens.

Key words: dominant species; ecological control; population dynamics; residence time.

自然界中的显花植物超过 20 万种(朱平阳, 2012; Balzan, 2017)。它们对昆虫群落多样性具有促进作用, 可为生境中的昆虫提供栖息地和食物来源, 为天敌提供替代食物、寄主和躲避场所(尤民生等, 2004; Tschumi, 2016; Toivonen *et al.*, 2019)。在农业生态系统中, 农业集约化生产使农业用地不断扩大, 进而导致非作物生境大量减少, 集约化的农业模式和较低的生物多样性会大幅度削弱天敌对害虫的控害能力(朱平阳等, 2012; Redlich *et al.*, 2018)。非作物生境是许多昆虫的栖息场所和食物来源, 非作物生境中的生物多样性对田间昆虫种类及种群数量影响巨大(尤民生等, 2004)。通过种植显花植物来创造非作物生境, 来为天敌提供营养物质, 可以强化天敌昆虫对害虫的生物防治作用(Tschumi, 2016)。访花昆虫是指在花上活动的昆虫(王俊等, 2011; 杨娟等, 2016; Vrdoljak *et al.*, 2016)。不同显花植物上昆虫种类及数量有明显差别, 这是访花昆虫长期适应花部特征而产生的结果(尚利娜等, 2012)。访花昆虫由于访花目的不同, 可分为天敌昆虫、传粉昆虫和取食花朵的昆虫(杜秀娟等, 2009)。花中的花粉等物质富含碳水化合物, 天敌昆虫在寻找猎物或寄主前, 花粉、花蜜和蜜露等能为其提供额外的营养, 对自然天敌昆虫控制害虫种群数量有促进作用(Tschumi, 2016)。

在农业生产过程中, 通过种植不同显花植物来增加花的数量和开花时间, 为天敌昆虫提供足够的营养物质从而提高天敌昆虫对害虫种群的控制作用, 是一种有效的增加天敌昆虫活力的方式(Vrdoljak *et al.*, 2016)。通过增加显花植物种类及数量来

吸引天敌昆虫从而进行生物防治的事例有很多, 学者们在显花植物的种植对害虫的控制作用相关的多个方面种进行了积极探索。例如, 早在 20 世纪 60 年代, 有研究人员在苹果园里种植刺芹属植物来吸引寄生性天敌, 同时, 种植蔷薇、荞麦、芥菜等显花植物也能取得相似的效果(朱平阳等, 2012; Balzan, 2017); 苹果园中种植多种显花植物能增加蜜蜂等传粉昆虫的数量, 同时增加了苹果园自身对害虫的控制能力(Alistair *et al.*, 2017)。紫花苜蓿(*Medicago sativa*)作为显花诱集植物种植在草莓园(*Fragaria ananassa*)中能增加草莓园中的蜘蛛等捕食性天敌的丰富度(Hagler *et al.*, 2018)。稻田边种植开花时间较长的显花植物芝麻可增加稻飞虱(*Nilaparvata lugens*)、稻纵卷叶螟(*Cnaphalocrocis medinalis*)等害虫的寄生性天敌数量, 从而减少了化学农药的使用, 对生态环境具有积极作用(Xu *et al.*, 2017)。在蔬菜上, 有研究表明, 在洋葱地(*Allium cepa*)周围种植万寿菊(*Tagetes erecta*), 可显著提高天敌昆虫对害虫的控制作用(朱平阳等, 2012)。将显花植物条带状种植在马铃薯(*Solanum tuberosum*)田中能显著增加马铃薯对害虫的自然控制能力(Tschumi, 2016); 羽衣甘蓝(*Brassica oleracea*)附近种植香雪球(*Lobularia maritima*)能增强对羽衣害虫的生物防治(Ribeiro *et al.*, 2017); 但大部分研究均对 1~2 种显花植物在主栽作物中或者周围种植对昆虫的影响, 而很多地区特别是山区, 主栽作物周围往往生长着多种显花植物, 多种显花植物对主栽作物上昆虫的影响需要进一步明确。

茶叶种植在云南省历史悠久, 属于典型的传统

产业,也是云南省很多地区支柱产业之一(江凤琼等,2013)。发展优良茶叶产业,构建生态茶园种植模式是云南贫困山区脱贫致富的主要道路。腾冲是云南茶叶的主要产区之一,生态茶园的构建是生产无公害茶和有机茶的一种重要生产模式,通过在茶园周围科学合理地种植显花植物,对茶树主要虫害进行生态防控,优化茶园配置,从而达到生态治理的目的。本研究在茶园外围种植6种显花植物,调查访花昆虫种类及数量,分析不同显花植物上访花昆虫的优势种及其活动规律,旨在为茶园害虫的生态治理,建成生态展示、技术示范、旅游观光的花园式有机茶园和无公害茶园提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样地概况

试验于2018年5—11月在位于云南省腾冲市高黎贡山茶博园内(24°56′41.30″N, 98°28′28.91″E)进行,年平均降雨量为约为1531 mm,海拔约为1880 m。试验地点距离腾冲市区10 km的腾冲驼峰机场附近。调查样地附近主要以自然植被常年绿针叶林主,所选取每个茶园试验样地形状不规则,每个样地面积约为300 m²,在每个调查的茶园边缘均种植有相应显花植物,调查样地间随机排列。显花植物的种植时间为2018年3月,每种显花植物种植在3个区域,每个区域的面积约10 m²。

1.2 试验材料

试验工具:捕虫网为长1.5 m,直径36 cm,80目尼龙纱网,由河南云飞科技发展有限公司生产、秒表:天福牌秒表,型号为PC3860A,由深圳是慧波工贸有限公司生产;毒瓶:用普通500 mL的玻璃广口瓶制作,底部垫3 cm厚的脱脂棉,用乙酸乙酯将脱脂棉浸湿,在脱脂棉上方盖上圆形的白色硬纸板;解剖镜:双目解剖镜;型号为奥林巴斯SZ51,由普赫光电(上海)科技有限公司生产(张晓明等,2015)。

显花植物:秋海棠(*Begonia grandis*)、鼠尾草(*Salvia japonica*)、黄金菊(*Euryops pectinatus*)、凤仙花(*Impatiens balsamina*)、四季海棠(*Begonia semperflorens*)和毛地黄(*Digitalis purpurea*)。种植显花植物的主要目的是同时考虑景观和生态防虫功能。种苗均购自云南省花卉示范园区。

1.3 试验方法

1.3.1 访花昆虫的种类及数量调查 在显花植物的开花期开展系统调查。采用对角线5点取样法,

每7天调查1次,分别对每种显花植物种植区进行观察,记录访花昆虫的种类和数量并实时记录环境因素和气象条件。调查方法采用目测法、扫网法和盘拍法(张晓明等,2009;柴正群等,2016)。暂不能定名的昆虫标本,用75%的酒精保存,鳞翅目成虫标本用放有乙酸乙酯的玻璃毒瓶毒死后,放入纸袋保存,统一编号后带回实验室进行鉴定(张晓明等,2009)。

目测法:每点随机选取5朵花,每点用肉眼观察,记录花朵上的昆虫种类、数量。

扫网法:每样点用捕虫网在花丛中扫网10网(捕虫网来回挥动1次为1网),收集网捕到的昆虫,记录其种类及数量。

盘拍法:每点随机选取5朵花,将放有加入少量洗洁精水的白瓷盘置于花朵下部,用手拍打花朵5次,收集并记录瓷盘中收集到的昆虫种类及数量。

1.3.2 访花昆虫的访花次数及停留时间 采用对角线5点取样法,每7天调查1次,每点随机选取5朵花,分别对每种显花植物种植区进行观察,记录访花昆虫的访花次数,访花昆虫在花上停留时间超过3 s为有效访花行为;同时,每个调查点随机选取其中1朵花,从访花昆虫接触花朵开始,用秒表记录其在1 min时间内的访花时间(王俊等,2011)。

1.4 数据分析

试验数据采用SAS 9.4软件进行统计分析,采用单因素方差分析法比较不同昆虫在同种花朵上访花时间的差异,Tukey HSD法进行差异显著性检验。用SigmaPlot 10.0软件进行绘图。由于茶园种植区整个生态环境比较复杂,将调查得到的显花植物上主要访花昆虫种类数量占比该显花植物上访花昆虫总数的10%及以上时该种昆虫视为优势种(张晓明等,2009;柴正群等,2016)。

2 结果与分析

2.1 不同显花植物访花昆虫群落组成

在茶园外围种植的6种显花植物上共调查到访花昆虫118种,隶属9目,42科。其中,秋海棠上的访花昆虫31种,隶属7目,25科;鼠尾草上的访花昆虫21种,隶属6目,16科;黄金菊上的访花昆虫34种,隶属7目,26科;凤仙花上的访花昆虫39种,隶属8目,32科;四季海棠上的访花昆虫12种,隶属5目,10科;毛地黄上的访花昆虫21种,隶属7目,18科(表1)。

表 1 茶园种植不同显花植物访花昆虫物种数
Table 1 Number of insect species on different flowering plants in tea garden

目 Order	科 Family	昆虫的物种数 The number of insect species					
		秋海棠 <i>Begonia grandis</i>	鼠尾草 <i>Salvia japonica</i>	黄金菊 <i>Euryops pectinatus</i>	凤仙花 <i>Impatiens balsamina</i>	四季海棠 <i>Begonia semperflorens</i>	毛地黄 <i>Digitalis purpurea</i>
鞘翅目 Coleoptera	步甲科 Carabidae	1	0	1	2	1	0
	叩甲科 Elateridae	0	0	1	0	0	0
	花金龟科 Cetoniidae	1	0	1	1	0	1
	鳃金龟科 Melolonthidae	0	0	0	1	0	0
	丽金龟科 Rutelidae	0	0	0	1	0	0
	金龟甲科 Scarabaeoidea	0	0	0	1	0	0
	象甲科 Curculionidae	0	0	1	0	0	0
	肖叶甲科 Eumolpidae	1	0	1	1	0	0
	叶甲科 Chrysomeloidea	1	1	1	1	2	2
	瓢虫科 Coccinellidae	0	0	0	1	0	0
半翅目 Hemiptera	芫青科 Meloidae	0	0	0	1	0	0
	蝽科 Pentatomidae	0	1	0	1	1	0
	盲蝽科 Miridae	1	2	3	2	1	2
	缘蝽科 Coreidae	1	1	1	1	0	0
	盾蝽科 Scutelleridae	0	1	1	1	0	0
膜翅目 Hymenoptera	叶蜂科 Cicadellidae	1	0	1	0	0	1
	姬蜂科 Ichneumonidae	1	1	2	1	0	1
	隧蜂科 Sphecodes	1	1	0	1	0	1
	茧蜂科 Braconidae	0	0	0	1	0	0
	锤角细蜂科 Diapriidae	1	0	0	0	0	0
	熊蜂科 Bombidae	1	0	0	0	0	1
	蜜蜂科 Apidae	1	1	1	1	0	1
双翅目 Diptera	蚁科 Formicidae	0	1	1	1	0	0
	实蝇科 Tephritidae	2	0	1	0	0	0
	蝇科 Muscidae	3	3	3	4	2	1
	花蝇科 Anthomyiidae	0	0	0	0	1	1
	果蝇科 Drosophilidae	0	0	1	0	0	0
	寄蝇科 Tachinidae	2	0	2	1	0	1
	食虫虻科 Asilidae	1	1	0	1	0	1
	食蚜蝇科 Syrphidae	3	3	3	3	1	2
	长足虻科 Dolichopodidae	1	0	1	1	0	1
	毛蚊科 Bibionidae	1	1	0	1	0	0
	大蚊科 Tipulidae	1	0	1	1	1	0
	丽蝇科 Calliphoridae	1	0	1	1	0	0
	蜚蠊目 Blattaria	1	0	0	0	0	0
直翅目 Orthoptera	螽斯科 Tettigoniidae	1	0	1	1	0	0
	蟋蟀科 Gryllidae	0	0	0	1	0	1
	蝗科 Acrididae	1	1	1	1	1	1
鳞翅目 Lepidoptera	刺蛾科 Limacodidae	0	1	1	1	0	0
	粉蝶科 Pieridae	0	1	1	0	0	1
革翅目 Dermoptera	蠼螋科 Labiduridae	1	0	1	1	0	1
缨翅目 Thysanoptera	蓟马科 Thripinae	0	0	0	1	1	0

不同显花植物主要访花昆虫种类如表 2 所示。秋海棠访花昆虫中优势种为绿盲蝽 (*Apolygus lucorum*) 和双斑长跗蚱叶甲 (*Monolepta hieroglyphica*), 分别占秋海棠访花全部昆虫数的 13.25% 和 11.64%; 鼠尾草访花昆虫中优势种为长肩棘缘蝽 (*Cletus trigonus*), 占鼠尾草访花全部昆虫数量的 37.84%; 黄金菊访花昆虫中优势种为纤腰巴食蚜蝇 (*Bacch maculata*) 和南方长足虻 (*Dolichopus meridionalis*), 分别占黄金菊访花全部昆虫数量的 22.41% 和 13.32%; 凤仙花访花昆虫中优势种为黑褐举腹蚁

表 2 茶园不同显花植物主要访花昆虫种类及数量比例
Table 2 Species and proportions of main flower-visiting insects on different flowering plants in tea garden

优势昆虫种类 Dominant insect species	访花比例(%) Proportion flower-visiting (%)					
	秋海棠 <i>Begonia grandis</i>	鼠尾草 <i>Salvia japonica</i>	黄金菊 <i>Euryops pectinatus</i>	凤仙花 <i>Impatiens balsamina</i>	四季海棠 <i>Begonia semperflorens</i>	毛地黄 <i>Digitalis purpurea</i>
双斑长跗萤叶甲 <i>Monolepta hieroglyphica</i>	11.64	/	0.42	1.51	12.57	6.88
绿盲蝽 <i>Apolygus lucorum</i>	13.25	4.24	9.54	6.44	25.03	2.75
长肩棘缘蝽 <i>Cletus trigonus</i>	1.65	37.84	2.94	1.74	/	/
纤腰巴食蚜蝇 <i>Bacch maculata</i>	3.12	2.52	22.41	1.53	4.72	/
南方长足虻 <i>Dolichopus meridionalis</i>	9.30	/	13.32	2.56	/	12.35
黑褐举腹蚁 <i>Crematogaster rogenhoferi</i>	/	4.25	0.46	46.94	/	/
短头熊蜂 <i>Bombus breviceps</i>	0.81	/	/	/	/	16.40
短角异斑腿蝗 <i>Xenocatantops brachycerus</i>	5.40	2.52	11.26	2.28	6.35	8.24

注：主要访花昆虫种类数量占比该显花植物上访花昆虫总数的 10% 及以上视为优势种。
Note: The number of main flower visiting insects accounts for 10% or more of the total number of flower visiting insects on this flowering plant, which is regarded as the dominant species.

(*Gremastogaste rogenhoferi*), 占凤仙花访花全部昆虫数量的 46.94%; 四季海棠访花昆虫中优势种为绿盲蝽和双斑长跗叶甲, 分别占四季海棠访花全部昆虫数量的 25.03% 和 12.57%; 毛地黄访花昆虫中优势种为短头熊蜂 (*Bombus breviceps*) 和南方长足虻, 分别占 16.40% 和 12.35% (表 2)。

2.2 不同显花植物主要访花昆虫种群动态

双斑长跗萤叶甲和绿盲蝽在秋海棠上的发生规律差别较大。7 月上旬开始, 双斑长跗萤叶甲种群数量迅速上升, 至 7 月中下旬达到全年最高峰 5.42 头·丛⁻¹, 之后其种群数量明显下降并维持较低水平, 至 9 月上旬出现一个小高峰 (图 1)。绿盲蝽在秋海棠种群主要集中在 6 月底和 8 月底, 并在 8 月低其种群数量达到全年的最高峰 5.39 头·丛⁻¹ (图 1)。长肩棘缘蝽在鼠尾草上发生规律在整个发生期内呈现单峰现象, 在 6 月初, 其种群数量达全年的最高峰 14.96 头·丛⁻¹, 之后其种群数量迅速并维持在较低水平 (图 1)。优势种纤腰巴食蚜蝇、短角异斑腿蝗 (*Xenocatantops brachycerus*) 和南方长足虻在黄金菊上的种群发生规律不一致; 纤腰巴食蚜蝇在 6 月初达到最高峰 20.20 头·丛⁻¹, 之后其种群数量迅速下降, 其种群数量维持较低水平; 短角异斑腿蝗从 7 月开始发生且种群数量逐渐上升, 至 8 月上旬达到最高峰 10.89 头·丛⁻¹; 南方长足虻的发生规律与短角异斑腿蝗较相似, 7 月上旬其种群数量上升, 但种群数量的最高峰出现在 7 月中旬, 为 13.06 头·丛⁻¹, 其余调查时间范围内种群数量在较低的不规则范围内波动 (图 1)。黑褐举腹蚁在凤仙花上的发生种群动态在整个发生期呈现多峰型, 分别为 6 月初、8 月中旬和 9 月上旬, 且其种群数量在 8 月

中旬达到种群的最高峰 31.64 头·丛⁻¹ (图 1)。双斑长跗萤叶甲和绿盲蝽在四季海棠上的种群规律差别较大, 主要发生在 8 月初和 9 月底两个时间段, 且 8 月初其种群数量达到最高峰 4.94 头·丛⁻¹。绿盲蝽在四季海棠上的种群出现多个高峰期, 并于 9 月初其种群数量达到最高峰 3.95 头·丛⁻¹ (图 1)。毛地黄上短头熊蜂主要发生在 8 月初和 10 月初两个时段内, 且于 8 月初达到种群最高峰 5.04 头·丛⁻¹, 其余时间内其种群数量处于极低水平。南方长足虻在毛地黄上于 7 月开始出现, 之后处于较低种群数量, 至 9 月其种群数量达到最高峰 2.99 头·丛⁻¹ (图 1)。

2.3 主要访花昆虫在不同显花植物的访花情况

在显花植物整个生长季节, 绿盲蝽对凤仙花和黄金菊的访花次数最多, 显著高于对秋海棠、四季海棠、鼠尾草和毛地黄上的访花次数 ($F_{5,12} = 25.48, P < 0.0001$); 长肩棘缘蝽对鼠尾草的访花次数最多, 显著高于对秋海棠、黄金菊和凤仙花访花次数 ($F_{3,8} = 158.96, P < 0.0001$); 黑褐举腹蚁对凤仙花的访花次数最多, 显著高于对鼠尾草和黄金菊的访花次数, 对秋海棠、四季海棠和毛地黄没有访花行为 ($F_{2,6} = 116.41, P < 0.0001$); 纤腰巴食蚜蝇对黄金菊的访花次数最多, 显著高于对秋海棠、鼠尾草、凤仙花和四季海棠的访花次数 ($F_{4,10} = 85.05, P < 0.0001$); 南方长足虻对黄金菊的访花次数最多, 显著高于对秋海棠、凤仙花和毛地黄的访花次数 ($F_{4,10} = 47.85, P < 0.0001$), 对鼠尾草和四季海棠没有访花行为; 短角异斑腿蝗对黄金菊的访花次数最多, 对鼠尾草和四季海棠的访花次数最少 ($F_{5,12} = 80.43, P < 0.0001$) (表 3)。

秋海棠上以绿盲蝽的访花次数最多, 显著高于

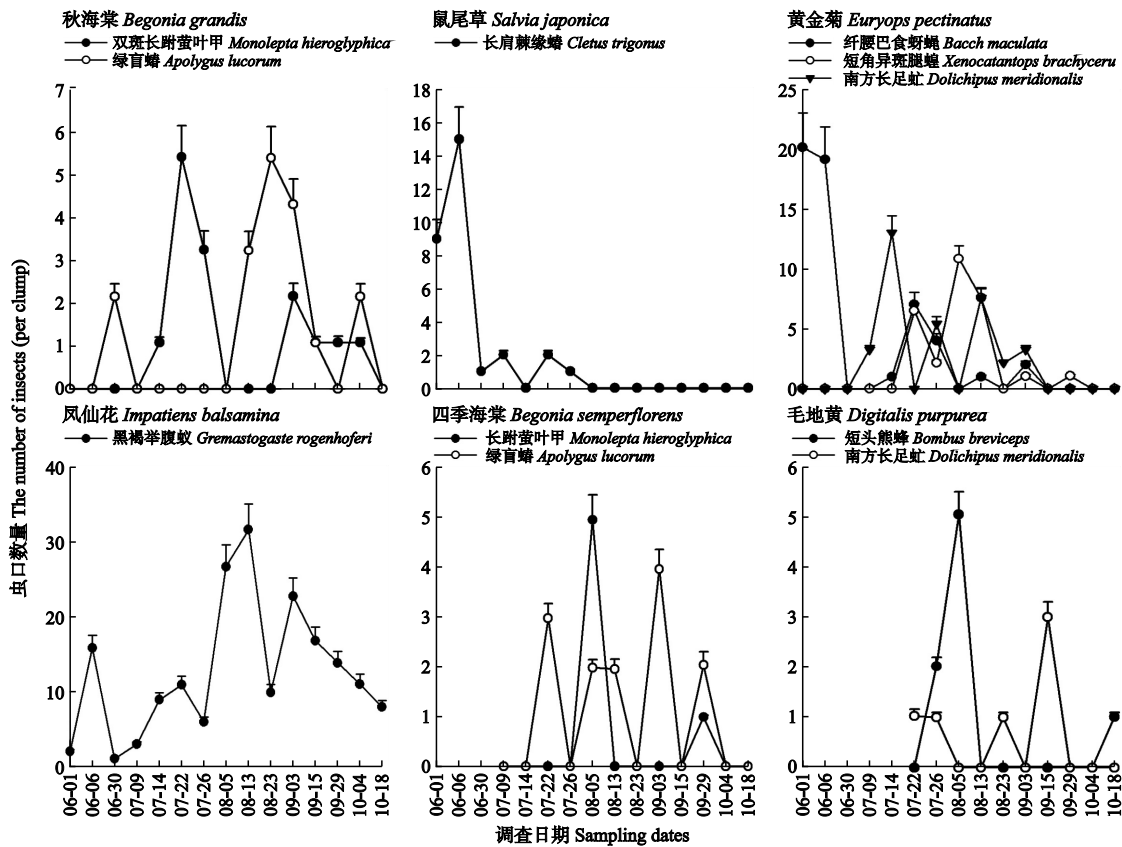


图 1 六种显花植物上优势种昆虫的种群动态
Fig.1 Population dynamics of dominant insects on six different flowering plant species
注：图中数值为平均值+标准误。
Note: Data in the figure are mean±SE.

长肩棘缘蝽、纤腰巴食蚜蝇和短角异斑腿蝗的访花次数 ($F_{4,10} = 11.24, P = 0.001$) ;鼠尾草上以长肩棘缘蝽次数最高,显著高于其他 4 种昆虫的访花次数 ($F_{4,10} = 169.98, P < 0.0001$) ;黄金菊上纤腰巴食蚜蝇的访花次数最多,黑褐举腹蚁和长肩棘缘蝽的访花次数最少 ($F_{5,12} = 59.49, P < 0.0001$) ;凤仙花上以黑

褐举腹蚁的访花次数最多,显著高于其他 5 种昆虫的花访次数 ($F_{5,12} = 103.79, P < 0.0001$) ;四季海棠 ($F_{2,6} = 23.68, P = 0.0001$) 和毛地黄上 ($F_{2,6} = 9.38, P = 0.014$) 分别以绿盲蝽和南方长足虻的访花次数最多(表 3)。

绿盲蝽在 6 种显花植物的停留时间以毛地黄上

表 3 茶园显花植物上主要访花昆虫的访花次数
Table 3 Number of flower visiting insects on the flowering plants in tea garden

访花昆虫 Flower visiting insects	访花次数(次) Flower visiting times					
	秋海棠 <i>Begonia grandis</i>	鼠尾草 <i>Salvia japonica</i>	黄金菊 <i>Euryops pectinatus</i>	凤仙花 <i>Impatiens balsamina</i>	四季海棠 <i>Begonia semperflorens</i>	毛地黄 <i>Digitalis purpurea</i>
绿盲蝽 <i>Apolygus lucorum</i>	1.13±0.17 Ba	0.33±0.07 Cb	1.56±0.08 Ac	1.71±0.22 Ab	1.09±0.06 Ba	0.18±0.04 Cb
长肩棘缘蝽 <i>Cletus trigonus</i>	0.16±0.06 Bc	3.02±0.18 Aa	0.49±0.08 Bd	0.42±0.04 Bb	—	—
黑褐举腹蚁 <i>Crematogaster rogenhoferi</i>	—	0.36±0.04 Bb	0.16±0.06 Bd	12.76±1.16 Aa	—	—
纤腰巴食蚜蝇 <i>Bacch maculata</i>	0.20±0.04 Bc	0.20±0.03 Bb	3.60±0.34 Aa	0.40±0.07 Bb	0.23±0.09 Bb	—
南方长足虻 <i>Dolichopus meridionalis</i>	0.80±0.18 Bab	—	2.13±0.14 Ab	0.67±0.07 Bb	—	0.62±0.10 Ba
短角异斑腿蝗 <i>Xenocatantops brachycerus</i>	0.47±0.10 BCc	0.22±0.06 Cb	1.80±0.04 Abc	0.60±0.07 Bb	0.28±0.04 Cb	0.40±0.07 BCab

注：表中数值为平均值±标准误。同行不同大写字母表示同一种昆虫对不同显花植物访花次数差异显著,同列不同小写字母表示同一种显花植物上不同昆虫的访花次数差异显著 (Tukey's HSD, $P < 0.05$) ,表 4 同。
Note: Data are mean±SE. Different capital letters in the same line indicate significant difference in the number of flower visits by the same insect among on different flowering plants; different lowercase letters in the same column indicate significant difference in the number of visiting flowers of different insects within the same flowering plant (Tukey's HSD test, $P < 0.05$). The same for table 4.

表 4 茶园显花植物上主要访花昆虫的停留时间
Table 4 Residence time of flower visiting insects on the flowering plants in tea garden

访花昆虫 Flower visiting insects	平均停留时间(s · min ⁻¹) Average residence time (s · min ⁻¹)					
	秋海棠 <i>Begonia grandis</i>	鼠尾草 <i>Salvia japonica</i>	黄金菊 <i>Euryops pectinatus</i>	凤仙花 <i>Impatiens balsamina</i>	四季海棠 <i>Begonia semperflorens</i>	毛地黄 <i>Digitalis purpurea</i>
绿盲蝽 <i>Apolygus lucorum</i>	40.67±18.47 ABab	10.60±1.14 Cb	45.38±20.28 ABab	14.43±9.15 Cc	26.85±18.06 BCb	55.33±7.07 Ab
长肩棘缘蝽 <i>Cletus trigonus</i>	3.12±2.83 Bc	55.01±11.68 Aa	57.50±2.89 Aa	42.52±18.71 Aab	/	/
黑褐举腹蚁 <i>Crematogaster rogenhoferi</i>	/	4.03±1.10 Bc	9.50±0.71 ABb	13.47±8.76 Ac	/	/
纤腰巴食蚜蝇 <i>Bacch maculata</i>	11.25±6.93 Cb	28.33±12.58 Bb	8.66±3.46 Cb	3.33±1.67 Dd	58.33±2.89 Aa	/
南方长足虻 <i>Dolichopus meridionalis</i>	20.33±9.04 ABb	/	9.33±5.34 Bb	23.63±3.82 Ab	/	25.12±0.13 Aa
短角异斑腿蝗 <i>Xenocatantops brachycerus</i>	58.26±2.74 Aa	57.53±3.54 Aa	56.67±5.16 Aa	55.56±2.74 Aa	56.75±3.54 Aa	57.50±2.89 Aa

最长,为 55.33 s · min⁻¹,显著高于在四季海棠、凤仙花和鼠尾草的停留时间($F_{5,12}=27.44,P<0.0001$)。长肩棘缘蝽在黄金菊、鼠尾草和凤仙花上的停留时间最长,显著高于在秋海棠上的停留时间($F_{3,8}=129.63,P<0.0001$)。黑褐举腹蚁在凤仙花上的停留时间最长,为 13.47 s · min⁻¹,显著高于在鼠尾草上的停留时间($F_{2,6}=7.68,P=0.014$)。纤腰巴食蚜蝇四季海棠上停留时间最长,为 58.33 s · min⁻¹,其次是鼠尾草,在凤仙花上的停留时间最短($F_{4,10}=87.73,P<0.0001$)。南方长足虻在毛地黄和凤仙花上的停留时间最长,显著高于在黄金菊上的停留时间($F_{4,10}=22.58,P<0.0001$)。短角异斑腿蝗在 6 种显花植物上的停留时长之间无显著差异($F_{5,12}=0.07,P=0.9501$,表 4)。

秋海棠上短角异斑腿蝗的停留时间最长,达 58.26 s · min⁻¹,显著长于南方长足虻、纤腰巴食蚜蝇和长肩棘缘蝽的停留时间($F_{4,10}=86.54,P<0.0001$);鼠尾草上的短角异斑腿蝗和长肩棘缘蝽的停留时间最长,显著高于纤腰巴食蚜蝇、绿盲蝽和黑褐举腹蚁的停留时间($F_{4,10}=76.23,P<0.0001$);黄金菊上长肩棘缘蝽和短角异斑腿蝗的停留时间最长,显著高于黑褐举腹蚁、南方长足虻和纤腰巴食蚜蝇的停留时间($F_{5,12}=97.84,P<0.0001$);凤仙花上短角异斑腿蝗的停留时间最长,纤腰巴食蚜蝇的停留时间最短($F_{5,12}=96.24,P<0.0001$);四季海棠上纤腰巴食蚜蝇和短角异斑腿蝗的停留时间显著长于绿盲蝽的停留时间($F_{2,6}=16.25,P=0.013$);毛地黄上短角异斑腿蝗和绿盲蝽的停留时间显著长于南方长足虻的停留时间($F_{2,6}=10.82,P=0.025$)(表 4)。

3 讨 论

不同的植物为昆虫提供的能量不同,不同种类的显花植物或同一种类显花植物的不同品种由于花

朵颜色、植物颜色或植物表面结构等差异,导致植物的营养成分和气味差异较大,所以对昆虫的吸引能力或昆虫对植物的趋势偏好性存在巨大差别,导致各种显花植物上的优势种昆虫差别较大(杨娟等,2016;张晓明等,2017;Redlich *et al.*,2018)。本研究表明,6 种不同种类显花植物上的昆虫种类和组成差别较大,其中以凤仙花上的访花昆虫物种数最多,达到 39 种;四季海棠上的访花昆虫物种数最少,仅为 12 种,主要原因之一可能是植物花的形状、颜色和气味决定了对访花昆虫的吸引能力,本研究中所种植的秋海棠和毛地黄的花朵以红色为主、鼠尾草花朵以紫色为主、黄金菊花朵以黄色为主、凤仙花花朵以浅红色为主、四季海棠花朵以粉色为主,一般情况下,茶园等多年生植物上的常见昆虫如蚜虫、叶蝉、粉虱、木虱、飞虱、蜡蝉和蝇类等对黄色有较强的正趋向性(李佳等,2015),蓟马等类群对蓝色具有较强的正趋向性(Hoback *et al.*,2003),本研究中黄色花色的黄金菊上的访花昆虫为 34 种,说明了大部分昆虫类群均比较喜好黄色花朵,但黄金菊上的访花昆虫种群数量却不是六种显花植物中最多,说明了除了花色之外还有更多的因子如植物的气味、植物的物理结构等共同决定对访花昆虫的吸引力(Hoback *et al.*,2003)。帅玉婷等(2016)在对大花黄牡丹(*Paeonia ludlowii*)访花昆虫种类研究结果得出,大花黄牡丹访花昆虫隶属于 6 目 18 科;冯立超等(2015)对海棠访花昆虫种类研究结果得出,海棠访花昆虫 46 种,隶属于 6 目 19 科;张晓明等(2017)研究了西花蓟马对不同花色菊花品种的趋向性表明黄色是西花蓟马最喜好的颜色。说明了黄色花朵的植物种类对昆虫具有较强的吸引力;由于每一种显花植物除了花朵颜色有差别之外,形状、气味等均不相同,导致不同显花植物的访花昆虫种类不同,所以评价显花植物在生态茶园中对昆虫的吸引作用时需

要结合多方面的因素来评价,才能筛选出合适的显花植物品种(Vrdoljak *et al.*, 2016)。

不同的访花昆虫在不同显花植物上的停留时间有存在较大差异。如纤腰巴食蚜蝇在秋海棠上的停留时间为 $11.25 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}$,在鼠尾草上的停留时间为 $28.33 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}$,在黄金菊上的停留时间为 $8.66 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}$,在凤仙花上的停留时间为 $3.33 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}$;绿盲蝽在秋海棠上的停留时间为 $40.67 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}$,在鼠尾草上的停留时间为 $10.60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}$,在黄金菊上的停留时间为 $45.38 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}$,在凤仙花上的停留时间为 $14.43 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}$ 。王伟等(2008)在南京郊区小菊访花昆虫活动规律研究中指出,食蚜蝇科在小菊上的停留时间为 $11.93 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}$,西方蜜蜂 *Apis mellifera* 在小菊上的停留时间为 $4.44 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}$ 。胡海桃等(2014)在二月兰访花昆虫活动规律研究中指出,东方蜜蜂(*Apis cerana*)在二月兰上的停留时间 6.09 s,长木蜂的停留时间为 5.33 s,赤足木蜂(*Xylocopa rufipes*)的停留时间为 3.32 s,黄胸木蜂(*Xylocopa appendiculata*)的停留时间为 2.95 s,黑颚条蜂(*Anthophora melanognatha*)停留时间为 1.46 s。说明了不同类型的显花植物或植物对昆虫在其上的持续吸引能力存在较大差别(Zhang *et al.*, 2020)。由于访花昆虫体型大小不同和访花习性不同等因素,不同的访花昆虫在不同显花植物上的停留时间有区别,所以昆虫在不同显花植物上的停留时间主要由昆虫种类、访花植物种类和种植模式决定(Vrdoljak *et al.*, 2016; Toivonen *et al.*, 2019)。

本研究结果显示,茶园周边种植不同的显花植物可明显吸引天敌昆虫与传粉昆虫,对茶园害虫的生态治理具有积极作用。在农田生态系统中,作物生境中天敌昆虫种类及数量受非作物生境的植被多样性的影响,植被多样性为天敌昆虫对害虫种群数量控制起到极其重要的作用(黄保宏等, 2005; Redlich *et al.*, 2018)。显花植物为天敌昆虫提供充足的食物资源及繁殖和越冬的场所,保证天敌昆虫种群定殖与繁衍,从而有效地控制害虫数量(胡宗文等, 2016; Tschumi, 2016)。显花植物的种类很多,选择哪些显花植物组合应用于生态农业生物防治还需要考虑很多因素,比如显花植物开花时间,种植显花植物的成本、管理显花植物的难度及用户对技术的掌握程度等(Tschumi *et al.*, 2016; 杜秀娟等, 2018)。显花植物中含有更多的花粉和花蜜等营养资源,可看做是农田潜在的天敌资源种库,种库生境

对作物生境中天敌群落多样性的这种补充、促进和调节作用尤为重要(尤士骏等, 2019)。在大量显花植物种植区域,可促进天敌种群从农田主栽作物迁出并找到补充替代猎物和花粉、花蜜等营养资源,同时,在农事操作如使用杀虫剂等导致主栽作物上的环境压力加大时,显花植物等可以提供暂时的避难场所(Parolin *et al.*, 2012)。对于一些扩散能力极其有限的天敌物种如拟寄生生物,农田周围的自然生境斑块亦可以提供花蜜和避难所资源(Tscharntke *et al.*, 2007)。除此之外,在半自然生境中增加显花植物种类和数量可以分泌多种花蜜和花粉供天敌选择和取食,能较为有效地提高捕食者的寿命和繁殖力,且这种作用有时是通过生物链间接传递,如二斑瓢虫(*Adalia bipunctata*)成虫在取食以花粉为食的地中海斑螟(*Ephestia kuehniella*)时,其繁殖力达到取食豆蚜(*Acyrtosiphon pisum*)时的两倍(De Clercq *et al.*, 2005)。因此,增加显花植物的种植相当于是建立一个半自然的天敌资源种库系统,对害虫的控制能起到一个持续的作用,合理选择及运用不同种类的显花植物能够有效地增加田间天敌昆虫种类及数量,保证天敌昆虫定殖与繁衍,从而控制害虫的种群数量,减少化学杀虫剂的使用,降低农业生产上的损失和农业污染,恢复茶园生态系统的生物多样性。

秋海棠的访花昆虫有 7 目 25 科 31 种,双斑长跗萤叶甲、绿盲蝽为优势种;鼠尾草的访花昆虫有 6 目 16 科 21 种,长肩棘缘蝽为优势种;凤仙花的访花昆虫有 8 目 32 科 39 种,黑褐举腹蚁为优势种;四季海棠的访花昆虫有 5 目 10 科 12 种,双斑长跗萤叶甲、绿盲蝽为优势种;毛地黄的访花昆虫有 7 目 18 科 21 种,短头熊蜂、南方长足虻为优势种。黄金菊上的访花昆虫 34 种,隶属 7 目, 26 科,其中纤腰巴食蚜蝇、南方长足虻为优势种,纤腰巴食蚜蝇和南方长足虻为害虫天敌,这 2 种昆虫对比其他显花植物,其在黄金菊上的访花昆虫占比最多,分别为 22.4%、13.3%,在黄金菊上访花次数最多,分别为 54 次、32 次;黄金菊的花期为 6—11 月,花期较长,所以推荐黄金菊种植在茶园,以增强生态茶园建设中对有害生物自我控制能力。

参考文献

- 柴正群, 可胜杰, 黄吉, 等. 2016. 不同种植环境夏玉米田节肢动物群落特征及稳定性. 生态学杂志, **35** (12): 3306–3314. [Chai ZQ, Ke SJ, Huang J, *et al.* 2016. Ar-

- thropod community characteristics and stability in summer maize fields with different planting environments. *Chinese Journal of Ecology*, **35**(12): 3306–3314.]
- 杜秀娟, 马春森, 吉国强, 等. 2018. 不同生境访问桃花昆虫群落组成与时间动态. 吉林林业科技, **47**(4): 17–23. [Du XJ, Ma CS, Ji GQ, *et al.* 2018. Composition and temporal dynamic of *Prunus persica* flower-visiting insect community from various habitats. *Journal of Jilin Forestry Science and Technology*, **47**(4): 17–23.]
- 杜秀娟, 任炳忠, 吴艳光, 等. 2009. 长白山北坡不同海拔及干扰程度下访花食蚜蝇群落的差异. 昆虫学报, **52**(5): 551–560. [Du XJ, Ren BZ, Wu YG, *et al.* 2009. Differences of flower-visiting hoverfly (Diptera: Syrphidae) communities in habitats with various degrees of disturbance and altitude in Changbai Mountain, N.E. China. *Acta Entomologica Sinica*, **52**(5): 551–560.]
- 冯立超, 孟庆繁, 高文韬. 2015. 长白山西南坡山楂海棠访花昆虫多样性及其行为研究. 广东农业科学, **42**(3): 147–152. [Feng LC, Meng QF, Gao WT. 2015. Diversity and behavior of flower visitors insects of *Malus komarovii* in the southwest slop of Changbai Mountain. *Guangdong Agricultural Sciences*, **42**(3): 147–152.]
- 胡海桃, 陈娟, 陈瑞旭, 等. 2014. 二月兰访花昆虫种类及其访花行为. 东北林业大学学报, **42**(11): 142–145. [Hu HT, Chen J, Chen RX, *et al.* 2014. Flower visiting insects species and behaviors in *Orychophragmus violaceus*. *Journal of Northeast Forestry University*, **42**(11): 142–145.]
- 胡宗文, 张学文, 杨娟, 等. 2016. 祥云坝区冬季访花昆虫调查及生态位分析. 生态学杂志, **35**(12): 3353–3359. [Hu ZW, Zhang XW, Yang J, *et al.* 2016. An investigation of pollinators and niche analysis in Xiangyun Basin during winter. *Chinese Journal of Ecology*, **35**(12): 3353–3359.]
- 黄保宏, 邹运鼎, 毕守东, 等. 2005. 梅园昆虫群落特征、动态及优势种生态位. 应用生态学报, **16**(2): 307–312. [Huang BH, Zou YD, Bi SD, *et al.* 2005. Characteristics, dynamics and niche of insect community in plum orchard. *Chinese Journal of Applied Ecology*, **16**(2): 307–312.]
- 江凤琼, 梁名志, 王立波. 2013. 云南茶叶产业发展现状与对策研究. 安徽农业科学, **41**(16): 7335–7336, 7339. [Jiang FQ, Liang MZ, Wang LB. 2013. Yunnan tea industry situation and development strategy. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, **41**(16): 7335–7336, 7339.]
- 李佳, 高宇, 崔娟, 等. 2015. 大豆田昆虫对不同颜色趋向选择的差异性分析. 大豆科学, **34**(2): 289–292. [Li J, Gao Yu, Cui Juan, *et al.* 2015. Tendency to different colors by insects in soybean fields. *Soybean Science*, **34**(2): 289–292.]
- 尚利娜, 王璞, 鲁莹, 等. 2012. 长白山北坡访花昆虫的多样性及时空动态. 吉林农业大学学报, **34**(4): 395–408. [Shang LN, Wang P, Lu Y, *et al.* 2012. Diversity and spatio-temporal dynamics of flower visitors in the northern slope of Changbai mountain. *Journal of Jilin Agricultural University*, **34**(4): 395–408.]
- 帅玉婷, 臧建成. 2016. 大花黄牡丹访花昆虫的种类及活动规律. 贵州农业科学, **44**(7): 40–43. [Shuai YT, Zang JC. 2016. Species and activity rhythm of flower-visiting insects on *Paeonia ludlowii*. *Guizhou Agricultural Sciences*, **44**(7): 40–43.]
- 王俊, 马玉心, 崔大练, 等. 2011. 八角金盘传粉昆虫及其访花行为. 应用昆虫学报, **48**(3): 764–768. [Wang J, Ma YX, Cui DL, *et al.* 2011. An observation on pollinating insects and their flower-visiting behavior on *Fatsia japonica*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, **48**(3): 764–768.]
- 王伟, 刘勇, 陈发棣, 等. 2008. 南京郊区小菊访花昆虫的行为与活动规律. 生态学杂志, **27**(7): 1167–1172. [Wang W, Liu Y, Chen FD, *et al.* 2008. Behavior and activity rhythm of flower-visiting insects on *Chrysanthemum morifolium* in Nanjing suburb. *Chinese Journal of Ecology*, **27**(7): 1167–1172.]
- 杨娟, 胡宗文, 张学文, 等. 2016. 昆虫对冬季显花植物蜜粉组合的选择偏好. 贵州农业科学, **44**(11): 69–72. [Yang J, Hu ZW, Zhang XW, *et al.* 2016. Preference of pollinator for nectar and pollen combination in winter. *Guizhou Agricultural Sciences*, **44**(11): 69–72.]
- 尤民生, 侯有明, 刘雨芳, 等. 2004. 农田非作物生境调控与害虫综合治理. 昆虫学报, **47**(2): 260–268. [You MS, Hou YM, Liu YF, *et al.* 2004. Non-crop habitat manipulation and integrated pest management in agroecosystems. *Acta Entomologica Sinica*, **47**(2): 260–268.]
- 尤士骏, 张杰, 李金玉, 等. 2019. 利用生物多样性控制作物害虫的理论与实践. 应用昆虫学报, **56**(6): 1125–1147. [You SJ, Zhang J, Li JY, *et al.* 2019. Theory and practice of utilizing biodiversity to enhance pest control in agroecosystems. *Chinese Journal of Applied Entomology*, **56**(6): 1125–1147.]
- 张晓明, 李强, 陈国华, 等. 2009. 不同种植模式花椒园昆虫群落的结构及稳定性. 应用生态学报, **20**(8): 1986–1991. [Zhang XM, Li Q, Chen GH, *et al.* 2009. Insect community structure and its stability in a *Zanthoxylum bungeanum* garden with different planting pattern. *Chinese Journal of Applied Ecology*, **20**(8): 1986–1991.]
- 张晓明, 李强, 陈国华, 等. 2015. 花椒园昆虫群落结构及时间动态的聚类分析. 应用昆虫学报, **52**(1): 237–248. [Zhang XM, Li Q, Chen GH, *et al.* 2015. Fuzzy clustering analysis of insect community structure in a *Zanthoxylum bungeanum* garden. *Chinese Journal of Applied Entomology*, **52**(1): 237–248.]
- 张晓明, 姚茹瑜, 张宏瑞, 等. 2017. 不同花色菊花品种上西花蓟马种群密度及雌雄性比. 植物保护学报, **44**(5): 737–745. [Zhang XM, Yao RY, Zhang HR, *et al.* 2017. Population density and sex ratio of western flower thrips *Frankliniella occidentalis* on chrysanthemum cultivars of different flower colors. *Journal of Plant Protection*, **44**(5): 737–745.]
- 朱平阳, 吕仲贤, Geoff G, 等. 2012. 显花植物在提高节肢动

- 物天敌控制害虫中的生态功能. 中国生物防治学报, **28**(4): 583–588. [Zhu PY, Lü ZX, Geoff G, *et al.* 2012. Ecological functions of flowering plants on conservation of the arthropod natural enemies of insect pests in agroecosystem. *Chinese Journal of Biological Control*, **28**(4): 583–588.]
- Alistair C, Andrew W, Peter S, *et al.* 2017. Getting more power from your flowers; Multi-functional flower strips enhance pollinators and pest control agents in apple orchards. *Insects*, **8**: 101.
- Balzan MV. 2017. Flowering banker plants for the delivery of multiple agroecosystem services. *Arthropod-Plant Interactions*, **11**: 743–754.
- De Clercq P, Bonte M, Van Speybroeck K, *et al.* 2005. Development and reproduction of *Adalia bipunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) on eggs of *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Phycitidae) and pollen. *Pest Management Science*, **61**: 1129–1132.
- Hagler JR, Nieto DJ, Machtley SA, *et al.* 2018. Dynamics of predation on *Lygus hesperus* (Hemiptera: Miridae) in alfalfa trap-cropped organic strawberry. *Journal of Insect Science*, **18**: 1–12.
- Hoback WW, Svatos TM, Spomer SM, *et al.* 2003. Trap color and placement affects estimates of insect family-level abundance and diversity in a Nebraska salt marsh. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **91**: 393–402.
- Parolin P, Bresch C, Desneux N, Brun R, *et al.* 2012. Secondary plants used in biological control: A review. *International Journal of Pest Management*, **58**: 91–100.
- Redlich S, Martin EA, Steffan-Dewenter I. 2018. Landscape-level crop diversity benefits biological pest control. *Journal of Applied Ecology*, **55**: 2419–2428.
- Ribeiro AL, Gontijo LM. 2017. Alyssum flowers promote biological control of collard pests. *BioControl*, **62**: 185–196.
- Toivonen M, Herzon I, Rajanen H, *et al.* 2019. Late flowering time enhances insect pollination of turnip rape. *Journal of Applied Ecology*, **56**: 1164–1175.
- Tscharntke T, Bommarco R, Clough Y, *et al.* 2007. Conservation biological control and enemy diversity on a landscape scale. *Biological Control*, **43**: 294–309.
- Tschumi M. 2016. Tailored flower strips promote natural enemy biodiversity and pest control in potato crops. *Journal of Applied Ecology*, **53**: 1169–1176.
- Tschumi M, Albrecht M, Bärtschi C, *et al.* 2016. Perennial, species-rich wildflower strips enhance pest control and crop yield. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **220**: 97–103.
- Vrdoljak SM, Samways MJ, Simaika JP. 2016. Pollinator conservation at the local scale: flower density, diversity and community structure increase flower visiting insect activity to mixed floral stands. *Journal of Insect Conservation*, **20**: 711–721.
- Xu HX, Yang YJ, Lu YH, *et al.* 2017. Sustainable management of rice insect pests by non-chemical-insecticide technologies in China. *Rice Science*, **24**: 61–72.
- Zhang XM, Lövei GL, Ferrante M, *et al.* 2020. The potential of trap and barrier cropping to decrease densities of the whitefly *Bemisia tabaci* MED on cotton in China. *Pest Management Science*, **76**: 366–374.
-
- 作者简介** 张晓明,男,1984年生,博士,副教授,硕士研究生导师,主要研究方向为入侵生物学与生态学。E-mail: zx-malex@126.com
- 责任编辑** 张 敏
-