

不同功能植物对棉花蚜虫及其捕食性天敌的影响

彭雪凡¹ 周晓通¹ 维尼热·买合木提¹ 上官一磊¹ 戈峰²
张建萍^{1*} 蔡志平^{1*}

(1. 石河子大学农学院, 新疆绿洲农业病虫害治理与植保资源利用重点实验室, 石河子 832000;
2. 山东省农业科学院植物保护研究所, 济南 250100)

摘要:为明确功能植物对棉花蚜虫及其捕食性天敌的调控作用,通过田间系统调查和室内选择行为反应试验测定4种功能植物对棉花蚜虫及其捕食性天敌种群动态的影响。结果显示,4种功能植物均可涵养多异瓢虫 *Hippodamia variegata*、中华通草蛉 *Chrysoperla sinica* 和东亚小花蝽 *Orius sauteri* 等捕食性天敌,其中蛇床草 *Cnidium monnieri* 上的捕食性天敌总数最多,达821头。蛇床草种植区棉花上多异瓢虫和中华通草蛉的种群数量均显著高于对照区棉花,而棉蚜 *Aphis gossypii*、棉长管蚜 *Acyrtosiphon gossypii* 和棉黑蚜 *Ap. craccivora* 的种群数量均显著低于对照区棉花;油菜 *Brassica napus* 种植区棉花上的中华通草蛉种群数量显著高于对照区棉花,棉长管蚜种群数量则显著低于对照区棉花;薄荷 *Mentha haplocalyx* 种植区棉花上的多异瓢虫和中华通草蛉种群数量均显著高于对照区棉花,棉蚜和棉长管蚜种群数量均显著低于对照区棉花;罗勒 *Ocimum basilicum* 种植区棉花上的棉长管蚜和棉黑蚜种群数量均显著低于对照区棉花。此外,棉蚜和棉长管蚜种群数量与捕食性天敌总数之间呈显著负相关;蛇床草和罗勒植株的挥发物显著吸引多异瓢虫和中华通草蛉,罗勒和薄荷植株的挥发物显著驱避有翅棉蚜。表明功能植物蛇床草、油菜、薄荷和罗勒可为棉田涵养捕食性天敌,而薄荷和罗勒还能驱避棉花蚜虫,可用于棉田害虫及天敌的生态调控。

关键词:功能植物;棉花;蚜虫;捕食性天敌;选择反应;蛇床草;油菜;薄荷;罗勒

Effects of different functional plants on cotton aphids and their predatory natural enemies

Peng Xuefan¹ Zhou Xiaotong¹ Weinire Maihemuti¹ Shangguan Yilei¹ Ge Feng²
Zhang Jianping^{1*} Cai Zhiping^{1*}

(1. Key Laboratory of Oasis Agricultural Pest Management and Plant Protection Resources Utilization, College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi 832000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China; 2. Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, Shandong Province, China)

Abstract: In order to determine the regulatory effect of four functional plants, *i.e.*, *Cnidium monnieri*, *Brassica napus*, *Mentha haplocalyx* and *Ocimum basilicum*, on cotton aphids and their predators, the population dynamics of cotton aphids and their predators were determined by systematic field investigation and selective behavioral response trials in the laboratory. The results showed that the four functional plants could conserve predatory natural enemies such as *Hippodamia variegata*, *Chrysoperla sinica* and *Orius sauteri*, among which *Cn. monnieri* could attract the largest population of predatory natural

基金项目: 八师石河子市中青年科技创新骨干人才计划项目(2022RC02), 八师石河子市人才发展专项, 石河子大学高层次人才科研启动项目(RCZK202014)

* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: zhjp_agr@shzu.edu.cn, caizp@shzu.edu.cn

收稿日期: 2022-11-02

enemies, reaching 821 individuals. The populations of *H. variegata* and *Ch. sinica* on cotton next to *Cn. monnieri* planting area were significantly higher than those in the control area, while the populations of *Aphis gossypii*, *Acyrtosiphon gossypii* and *Ap. craccivora* on cotton were significantly lower than those in the control area. The population size of *Ch. sinica* on cotton next to *B. napus* planting area was significantly higher than that in the control area, and that of *Ac. gossypii* on cotton was significantly lower than in the control area. The populations of *H. variegata* and *Ch. sinica* on cotton next to *Mentha haplocalyx* planting area were significantly higher than those in the control area, while the populations of *Ap. gossypii* and *Ac. gossypii* on cotton were significantly lower than those in the control area. The population sizes of *Ac. gossypii* and *Ap. craccivora* next to *Ocimum basilicum* planting area were significantly lower than those in the control area. The populations of *Ap. gossypii* and *Ac. gossypii* had a significant negative correlation with the total population of predatory natural enemies. The plant volatiles of *Cn. monnieri* and *O. basilicum* significantly attracted *H. variegata* and *Ch. sinica*. The plant volatiles of *O. basilicum* and *M. haplocalyx* tended to significantly expel the winged cotton aphids. The results indicated that the functional plants *Cn. monnieri*, *B. napus*, *M. haplocalyx* and *O. basilicum* could conserve the natural enemies in cotton fields, while *M. haplocalyx* and *O. basilicum* could also expel cotton aphids and be used for ecological regulation of cotton pests and natural enemies.

Key words: functional plant; cotton; aphid; predatory natural enemy; selective response; *Cnidium monnieri*; *Brassica napus*; *Mentha haplocalyx*; *Ocimum basilicum*

棉花 *Gossypium* spp. 是我国主要的经济作物之一,是关系国计民生的重要战略物资(宋海燕等, 2021)。新疆维吾尔自治区(简称新疆)是我国最大、最重要的棉花产区,在全国棉花产业发展中占据着重要地位(李金花等, 2021)。病虫害是制约棉花产业发展的关键限制因子,每年可造成棉花产量损失 15%~20%,其中,虫害的影响尤为突出(Chi et al., 2021; 姜玉英等, 2021)。蚜虫是新疆棉花生产中的一类主要害虫,包括棉蚜 *Aphis gossypii*、棉长管蚜 *Acyrtosiphon gossypii* 和棉黑蚜 *Ap. craccivora* 等(李娜, 2021)。棉花蚜虫刺吸食植物汁液,严重时可造成植株枯死,其分泌的蜜露也会影响植物的光合作用,同时还能传播多种病毒病,严重影响棉花的产量和品质(吴娜等, 2020; 刘金萍, 2021; 潘明真等, 2022)。棉花害虫的传统防控手段是施用化学农药,化学农药在控制有害生物为害和促进农作物增产等方面具有重要作用,但长期施用化学农药不仅会破坏自然生态系统的良性循环,而且随着化学杀虫剂的广泛使用会进一步加剧害虫的抗药性,减少有益天敌数量,使得害虫再度猖獗,从而产生生态灾难(Redlich et al., 2018; 尤士骏等, 2019; 黄云等, 2022)。

近年来,保护性生物防治在国内外受到越来越多的重视且发展迅速(杨泉峰等, 2020)。保护性生物防治是一项基于生态学的调控策略,主要通过多种管理措施对生态系统中的天敌资源进行保护,以

增强其适应性并对害虫进行生物控制(杨亚洁等, 2023)。保护天敌可通过创造有利于其生长、发育和繁殖的环境条件来实现(Jaworski et al., 2019)。功能植物是一类可以为天敌提供“衣(携带花粉)、食(花粉和花蜜)、住(栖息和越冬及越冬场所)、行(转移扩散寄主)”且具预防、抑制或驱避害虫种群等特征的一类植物(赵紫华等, 2013; Gurr et al., 2017)。在农田生态系统中引入功能植物不仅能够增加农田的生物多样性,还能为天敌提供食物资源和栖息场所,增加天敌的种类和数量,充分发挥其控害功能。在棉田周围种植玉米 *Zea mays*、高粱 *Sorghum bicolor*、小麦 *Triticum aestivum*、绿豆 *Vigna radiata* 和向日葵 *Helianthus annuus* 等作物,可以诱集草蛉、瓢虫、蜘蛛、食蚜蝇以及小花蝽等天敌,减轻害虫对棉花植株的为害(Ma et al., 2006; 雒珺瑜等, 2014; Siddiqui et al., 2018);此外,将棉花与有特殊气味的作物间(套)作,如大蒜 *Allium sativum*、胡萝卜 *Daucus carota* 和罗勒 *Ocimum basilicum* 等,可以有效驱避棉蚜以及棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 等害虫,减轻其对棉花植株的为害(Chi et al., 2021)。因此,种植功能植物以增加天敌数量或驱避害虫是农业生态系统中害虫及天敌生态调控的有效手段之一。

蛇床草 *Cnidium monnieri* 是伞形科蛇床属的草本植物,能够吸引瓢虫、草蛉以及食蚜蝇等捕食性天敌,在山东省作为涵养天敌的功能植物应用于小麦

田和苹果园(杨泉峰等,2018;蔡志平,2020;Zhang et al.,2022)。油菜 *Brassica napus* 是十字花科芸苔属中的重要油料作物,在新疆春季播种,5—7月开花,能够涵养大量的瓢虫、草蛉、食蚜蝇以及寄生蜂等天敌(王伟等,2011;陆宴辉等,2020)。薄荷 *Mentha haplocalyx* 是唇形科薄荷属的一种有特殊经济价值的芳香植物,在果园和农田种植可驱避多种鳞翅目害虫和蚜虫(孙梅梅等,2016)。罗勒是唇形科罗勒属的药食两用芳香植物,具有疏风解表以及解毒消肿等功效,可驱避绿盲蝽 *Apolygus lucorum* 和蚕豆蚜 *Ap. faba* 等多种害虫,可作为驱避害虫的功能植物(Basedow et al.,2006;陈泽军,2021)。这4种功能植物通过吸引天敌或驱避害虫在农田中发挥其生态调控作用,但对新疆棉田中蚜虫类害虫及其天敌的调控效果尚不清楚。

为评估不同作用功能植物蛇床草、油菜、薄荷和罗勒对新疆棉田蚜虫类害虫及捕食性天敌的调控作用,本研究在棉田边缘种植功能植物带,对功能植物和棉花上蚜虫及捕食性天敌的种群动态进行调查,并测定棉蚜和捕食性天敌对功能植物的选择行为,综合评估功能植物对棉花蚜虫及捕食性天敌的调控作用,以期对棉田种植功能植物涵养天敌或驱避害虫进行生态调控提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试植物和昆虫:棉花品种为惠远720,由新疆惠远种业股份有限公司提供,油菜、薄荷和罗勒种子购自恒大种业总公司,蛇床草种子由本实验室采集自石河子大学试验场。棉蚜(有翅蚜)、多异瓢虫 *Hippodamia variegata* 和中华通草蛉 *Chrysoperla sinica* 均采集自石河子大学试验场二连试验地的棉花及功能植物上,采集后将其带回实验室放入温度(25±1)℃、相对湿度(70±5)%、光周期16 L:8 D的人工培养箱饲养,取成虫供试。

仪器:A10000型光照培养箱,上海泽泉科技股份有限公司;QC-1S型大气采样仪,北京市劳动保护科学研究所;250 mL活性炭干燥塔、250 mL味源瓶和Y型管,四川蜀牛科技有限公司;LZB-3WB气体流量计,常州市科德热工仪表有限公司。

1.2 方法

1.2.1 小区试验设计

田间试验设在石河子大学试验场二连试验地。试验地呈南北走向,试验共设4个处理,即在棉田西

侧边缘分别种植蛇床草、油菜、薄荷和罗勒4种功能植物,其中每个小区包括1膜功能植物和5膜棉花,膜宽2 m,每个小区面积为30 m×15 m;其中,功能植物种植模式为1膜6行,株行距为10 cm×33 cm;棉花采用宽窄行种植模式,1膜6行,株距为10 cm,宽行行距为66 cm,窄行行距为10 cm,平均行距为33 cm;每个处理重复3次,即种植3个小区,随机区组排列。小区之间间隔2 m。对照区设在远离功能植物种植带40 m以上的棉田。功能植物和棉花均为2022年4月18日播种,所有处理区和对照区除进行正常肥水管理外,不使用任何化学药剂进行病虫害防治。

1.2.2 棉花蚜虫及天敌调查

于2022年5月下旬开始调查,每10 d调查1次,7月下旬调查结束,共调查7次。对于功能植物,每个小区随机选择3个点,每点选取1 m×1 m样方1个,统计样方内功能植物植株上捕食性天敌的种类和数量;对于棉花,在各处理小区和对照区均采用五点取样法进行调查,每点选择连续的10株棉花,6月20日之前进行全株调查,6月20日之后每株随机选取上、中、下3片叶,统计棉花上蚜虫及捕食性天敌的种类和数量。棉花蚜虫和天敌均采用目测法进行调查,由于天敌成虫善于飞行,因此在接近取样点前先调查叶片上的成虫数量,再进行全株调查,需要进一步确认种类的昆虫带回实验室进行鉴定后计数。

1.2.3 棉花上捕食性天敌与蚜虫种群间的相关分析
将1.2.2调查所得棉花上捕食性天敌总数与各蚜虫种群数据均采用 $\lg(x+1)$ 进行数值转化,并利用SPSS 22.0软件以线性回归分析法对棉花上捕食性天敌与蚜虫种群发生动态进行线性相关分析。

1.2.4 棉蚜及其捕食性天敌对不同功能植物的行为选择

使用两臂长均为8 cm、内径均为1 cm、夹角为75°的Y型管测定棉蚜(有翅蚜)的行为选择,气体流速为100 mL/min,试验前将其饥饿8 h;使用两臂长均为18 cm、内径均为2.6 cm、夹角为70°的Y型管测定多异瓢虫及中华通草蛉成虫的行为选择,气体流速为400 mL/min,试验前将其饥饿24 h。按照大气采样仪、活性炭干燥塔、蒸馏瓶、味源瓶、气体流量计和Y型管的顺序用硅胶管连接好,接通大气采样仪电源,调节流速使两边的气流速度相同。再将待测植株放入味源瓶中通气10 min,使气味充满管壁,以保证测试结果。测试时将饥饿后的昆虫引入嗅觉仪主臂内,1次1头,观察其在5 min内的行为反应。当其爬行超过某味源臂的1/3处记为选择该臂,在

5 min 内未到达任一味源臂 1/3 处则记为无选择。每头试虫仅测试 1 次,每测试 5 头后,先用 95% 无水乙醇清洗管壁和硅胶管,再用蒸馏水进行冲洗,烘干后调换 Y 型管的气味源与对照源的方向。根据 1.2.2 调查结果,选择蛇床草、薄荷或罗勒植株作为气味源,以清洁空气作为对照源。将蛇床草、薄荷和罗勒种子分别播于高 8.5 cm、直径 15 cm 的塑料花盆中,放入温度(25±1) °C、相对湿度(70±5)%、光周期 16 L:8 D 的人工培养箱中培养,待出苗后每盆定苗至 3 株,待长至成株期供试。棉蚜(有翅蚜)对薄荷、罗勒植株的选择行为试验各测试 50 头,多异瓢虫和中华通草蛉雌、雄成虫对蛇床草、罗勒植株的选择行为试验各测试 50 头,每 10 头为 1 组重复,每个处理 5 次重复。蚜虫减退率=(对照区蚜虫种群数量的平均值-处理区蚜虫种群数量的平均值)/对照区蚜虫种群数量的平均值×100%。

1.3 数据分析

利用 WPS Office 2022 和 SPSS 22.0 软件对试验数据进行处理,种群动态调查中不同处理功能植物和棉花上捕食性天敌和蚜虫的种群数量用重复测量方差分析,不同时间功能植物和棉花上捕食性天敌和蚜虫种群用单因素方差分析,并应用 Duncan 氏新复极差法进行差异显著性检验。选择行为反应数据用卡方检验法进行检验,并计算相应 P 值。

2 结果与分析

2.1 功能植物上捕食性天敌发生动态

在 4 种功能植物上主要调查到 6 种捕食性天敌,分别为多异瓢虫、方斑瓢虫 *Propylea quatuordecimpunctata*、中华通草蛉、东亚小花蝽 *Orius sauteri*、大灰优食蚜蝇 *Eupeodes corollae* 和三突花蛛 *Mis-*

umenops tricuspoidatus, 优势天敌主要为多异瓢虫、中华通草蛉和东亚小花蝽,分别调查到 873、28 和 150 头。其中蛇床草上调查到的捕食性天敌总数最多,达 821 头;油菜和罗勒上的捕食性天敌总数次之,分别为 343 头和 228 头;薄荷上的捕食性天敌总数较少,仅 176 头。

多异瓢虫在 4 种功能植物上的发生趋势均呈先上升后下降的趋势,在蛇床草和薄荷上的发生高峰期为 7 月 10 日,在油菜和罗勒上的发生高峰期为 7 月 20 日(图 1-A)。多异瓢虫在 4 种功能植物上的种群数量差异极显著($F_{3,8}=45.260, P<0.001$),其中蛇床草上的多异瓢虫种群数量最多,显著高于其他 3 种功能植物上的种群数量(蛇床草 vs 油菜: $F_{1,4}=18.003, P=0.013$;蛇床草 vs 薄荷: $F_{1,4}=56.455, P=0.002$;蛇床草 vs 罗勒: $F_{1,4}=52.362, P=0.002$),油菜上多异瓢虫种群数量极显著高于罗勒和薄荷上的种群数量(油菜 vs 罗勒: $F_{1,4}=103.954, P=0.001$;油菜 vs 薄荷: $F_{1,4}=148.757, P<0.001$)。

中华通草蛉于 6 月中旬开始发生,其种群数量随着时间的推移不断上升,在蛇床草上于 7 月 10 日达到高峰,在其他 3 种功能植物上于 7 月 20 日达到高峰,随后开始逐渐下降(图 1-B)。中华通草蛉在 4 种功能植物上的种群数量差异极显著($F_{3,8}=27.981, P<0.001$)。7 月 10 日,中华通草蛉在蛇床草上的种群数量极显著高于其他 3 种功能植物上的种群数量(蛇床草 vs 油菜: $F_{1,4}=33.675, P=0.004$;蛇床草 vs 薄荷: $F_{1,4}=31.813, P=0.005$;蛇床草 vs 罗勒: $F_{1,4}=29.763, P=0.005$);7 月 20 日,中华通草蛉在薄荷和蛇床草上的种群数量极显著高于油菜上的种群数量(薄荷 vs 油菜: $F_{1,4}=30.172, P=0.005$;蛇床草 vs 油菜: $F_{1,4}=32.269, P=0.005$)。

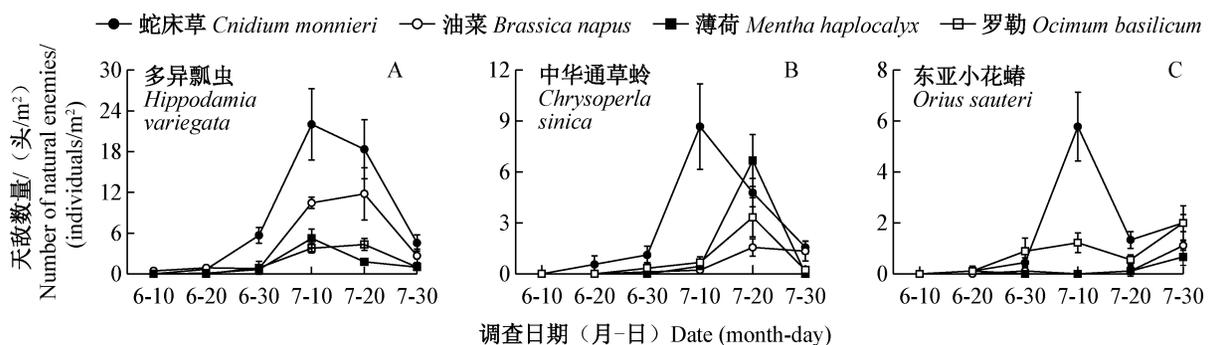


图 1 不同功能植物上主要捕食性天敌的种群发生动态

Fig. 1 Population dynamics of main predatory natural enemies on different functional plants

图中数据为平均数±标准误。Data in the figure are mean±SE.

东亚小花蝽在 6 月中旬开始发生,其种群数量在蛇床草上最多(图 1-C),极显著高于在其他 3 种功

能植物上的种群数量(蛇床草 vs 油菜: $F_{1,4}=144.452$, $P<0.001$; 蛇床草 vs 薄荷: $F_{1,4}=145.069$, $P<0.001$; 蛇床草 vs 罗勒: $F_{1,4}=39.296$, $P=0.003$); 在罗勒上的种群数量极显著高于在薄荷和油菜上的种群数量(罗勒 vs 薄荷: $F_{1,4}=60.580$, $P=0.001$; 罗勒 vs 油菜: $F_{1,4}=59.533$, $P=0.002$)。

2.2 功能植物种植区棉花上主要捕食性天敌发生动态

4种功能植物种植区棉花上和对照区棉花上多异瓢虫的种群数量差异极显著($F_{4,10}=12.881$, $P<0.001$), 其中蛇床草种植区棉花上的多异瓢虫种群数量最多, 极显著高于对照区棉花上的种群数量($F_{1,4}=131.562$, $P<0.001$), 薄荷种植区棉花上与对照区棉花上的种群数量差异显著($F_{1,4}=8.245$, $P=0.045$), 而油菜种植区和罗勒种植区棉花上与对照区棉花上的种群数量无显著差异(油菜 vs 对照: $F_{1,4}=5.906$, $P=0.072$; 罗勒 vs 对照: $F_{1,4}=3.629$, $P=0.129$)。各处理小区多异瓢虫的发生动态基本一致, 7月10日之前随时间的推移逐渐增多, 之后逐渐开始下降(图2-A)。在多异瓢虫发生高峰期(7月10日), 蛇床草种植区棉花上的种群数量显著高于对照区棉花上的种群数量($F_{1,4}=19.876$, $P=0.011$), 其他3种功能植物种植区

棉花上和对照区棉花上多异瓢虫的种群数量均无显著差异。

4种功能植物种植区棉花上和对照区棉花上中华通草蛉的种群数量差异显著($F_{4,10}=5.623$, $P=0.012$), 其中蛇床草种植区、油菜种植区和薄荷种植区棉花上的种群数量显著高于对照区棉花上的种群数量(蛇床草 vs 对照: $F_{1,4}=16.565$, $P=0.015$; 油菜 vs 对照: $F_{1,4}=20.276$, $P=0.011$; 薄荷 vs 对照: $F_{1,4}=11.362$, $P=0.028$)。中华通草蛉在各处理小区的发生趋势基本一致, 都是于6月上旬开始发生, 6月20日达到高峰(图2-B), 此时油菜种植区和蛇床草种植区棉花上的种群数量显著高于对照区棉花上的种群数量(油菜 vs 对照: $F_{1,4}=24.237$, $P=0.008$; 蛇床草 vs 对照: $F_{1,4}=11.504$, $P=0.027$), 罗勒种植区和薄荷种植区棉花上与对照区棉花上的种群数量均无显著差异(罗勒 vs 对照: $F_{1,4}=5.082$, $P=0.087$; 薄荷 vs 对照: $F_{1,4}=7.256$, $P=0.054$)。6月20日之后, 中华通草蛉种群数量开始下降, 蛇床草种植区棉花上中华通草蛉在7月10日出现第2个高峰(图2-B), 其种群数量极显著高于对照区棉花上的种群数量($F_{1,4}=29.455$, $P=0.006$)。

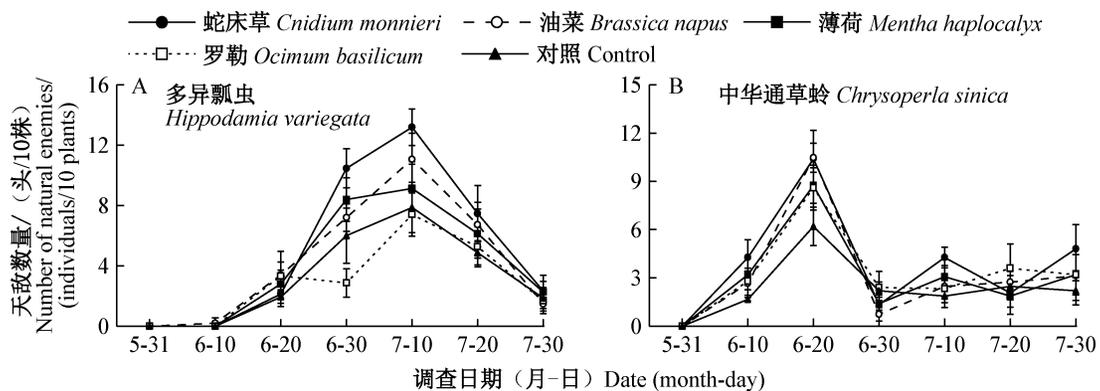


图2 不同功能植物种植区棉花上主要捕食性天敌的种群发生动态

Fig. 2 Population dynamics of main predatory natural enemies on cotton in different functional plant planting areas

图中数据为平均数±标准误。Data in the figure are mean±SE.

2.3 功能植物种植区棉花上3种蚜虫发生动态

2.3.1 棉蚜发生动态

4种功能植物种植区棉花上和对照区棉花上棉蚜的种群数量差异极显著($F_{4,10}=8.254$, $P=0.003$), 其中蛇床草种植区棉花上的种群数量最少, 显著低于对照区棉花上的种群数量($F_{1,4}=13.725$, $P=0.021$), 薄荷种植区棉花上的种群数量次之, 也显著低于对照区棉花上的种群数量($F_{1,4}=13.425$, $P=0.022$), 而油菜种植区和罗勒种植区棉花上与对照区棉花上的种群数量无显著差异(油菜 vs 对照: $F_{1,4}=5.760$, $P=$

0.074; 罗勒 vs 对照: $F_{1,4}=4.742$, $P=0.095$)。棉蚜在各处理小区的发生规律基本一致, 于6月上旬开始发生, 6月30日达到高峰, 随后逐渐下降(图3-A)。在棉蚜发生初期(6月10日), 薄荷种植区和油菜种植区棉花上的种群数量显著低于对照区棉花上的种群数量(薄荷 vs 对照: $F_{1,4}=17.404$, $P=0.014$; 油菜 vs 对照: $F_{1,4}=7.746$, $P=0.050$); 在棉蚜发生高峰期(6月30日), 蛇床草种植区棉花上的种群数量显著低于对照区棉花上的种群数量($F_{1,4}=9.313$, $P=0.038$), 其他3种功能植物种植区棉花上和对照区棉花上的种群数

量均无显著差异。相比于对照区棉花,蛇床草种植区棉花上棉蚜种群的减退率最高,为30.41%,其次是薄荷种植区棉花上棉蚜种群的减退率,为28.58%,

两者均显著高于油菜种植区和罗勒种植区棉花上棉蚜种群的减退率,分别仅为17.63%和17.26%(图3-B)。

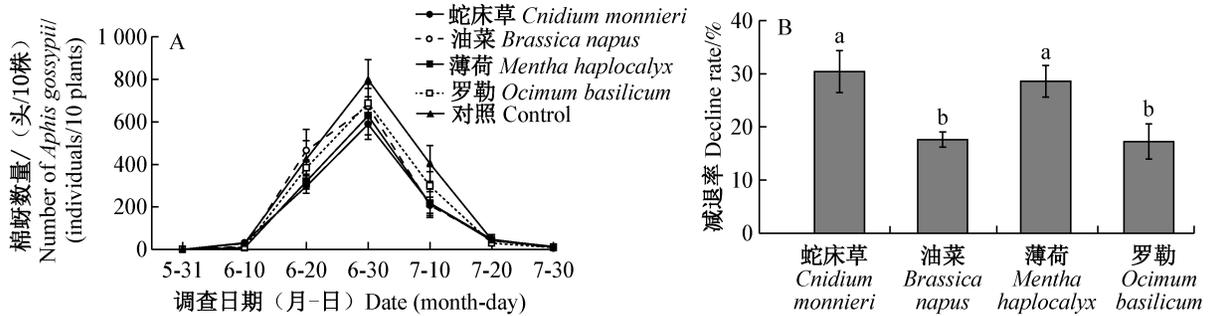


图3 不同功能植物种植区棉花上棉蚜种群的发生动态(A)及减退率(B)

Fig. 3 Population dynamics (A) and decline rate (B) of *Aphis gossypii* on cotton in different functional plant planting areas

图中数据为平均数±标准误。不同小写字母表示不同处理间减退率经Duncan氏新复极差法检验差异显著($P<0.05$)。Data in the figure are mean±SE. Different lowercase letters indicate significant difference among different treatments by Duncan's new multiple range test ($P<0.05$).

2.3.2 棉长管蚜发生动态

4种功能植物种植区棉花上与对照区棉花上棉长管蚜的种群数量差异极显著($F_{4,10}=32.143, P<0.001$),其中蛇床草种植区、薄荷种植区和罗勒种植区棉花上的种群数量极显著低于对照区棉花上的种群数量(蛇床草 vs 对照: $F_{1,4}=75.608, P=0.001$;薄荷 vs 对照: $F_{1,4}=62.427, P=0.001$;罗勒 vs 对照: $F_{1,4}=42.922, P=0.003$),油菜种植区棉花上的种群数量显著低于对照区棉花上的种群数量($F_{1,4}=7.817, P=0.049$)。棉长管蚜在各处理小区的发生规律基本一致,于6月上旬开始发生,6月20日达到高峰,随后逐渐下降,在7月10日又出现1个小高峰(图4-A)。在棉长管蚜发生的第1个高峰期(6月20日),蛇床草和薄荷种植区棉花上的种群数量显著低于对照区

棉花上的种群数量(蛇床草 vs 对照: $F_{1,4}=20.469, P=0.011$;薄荷 vs 对照: $F_{1,4}=14.465, P=0.019$);在棉长管蚜发生的第2个高峰期(7月10日),蛇床草种植区和薄荷种植区棉花上的种群数量极显著低于对照区棉花上的种群数量(蛇床草 vs 对照: $F_{1,4}=34.017, P=0.004$;薄荷 vs 对照: $F_{1,4}=47.336, P=0.002$),罗勒种植区棉花上的种群数量显著低于对照区棉花上的种群数量($F_{1,4}=13.536, P=0.021$)。相较于对照区棉花,蛇床草种植区棉花上棉长管蚜种群的减退率最高,为70.82%,其次是薄荷种植区棉花上棉长管蚜种群的减退率,为61.25%,之后是罗勒种植区棉花上棉长管蚜种群的减退率,为53.78%,三者均显著高于油菜种植区棉花上棉长管蚜种群的减退率27.38%(图4-B)。

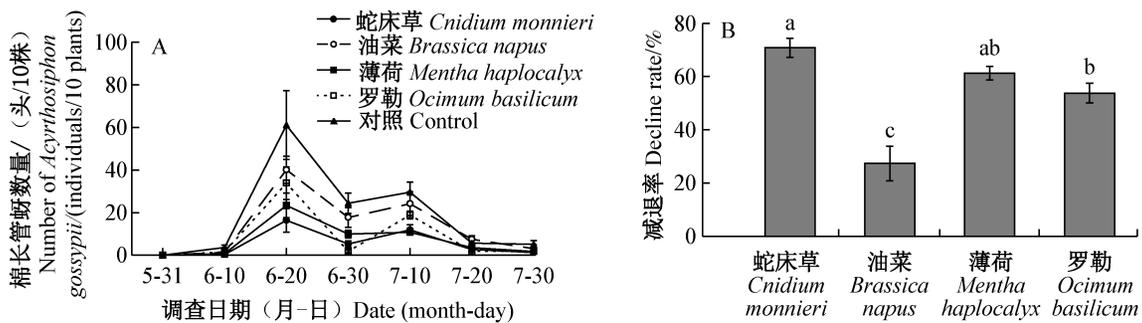


图4 不同功能植物种植区棉花上棉长管蚜种群的发生动态(A)及减退率(B)

Fig. 4 Population dynamics (A) and decline rate (B) of *Acyrthosiphon gossypii* on cotton in different functional plant planting areas

图中数据为平均数±标准误。不同小写字母表示不同处理间减退率经Duncan氏新复极差法检验差异显著($P<0.05$)。Data in the figure are mean±SE. Different lowercase letters indicate significant difference among different treatments by Duncan's new multiple range test ($P<0.05$).

2.3.3 棉黑蚜发生动态

4种功能植物种植区棉花上和对照区棉花上棉黑蚜的种群数量差异极显著($F_{4,10}=9.645, P=0.001$), 其中蛇床草种植区和罗勒种植区棉花上的种群数量显著低于对照区棉花上的种群数量(蛇床草 vs 对照: $F_{1,4}=25.737, P=0.007$; 罗勒 vs 对照: $F_{1,4}=15.866, P=0.016$), 油菜种植区和薄荷种植区棉花上的种群数量与对照区棉花上的种群数量均无显著差异(油菜 vs 对照: $F_{1,4}=0.566, P=0.494$; 薄荷 vs 对照: $F_{1,4}=1.092, P=0.355$)。棉黑蚜在各小区的发生规律基本一致, 于6月上旬开始发生, 在6月20日达到高峰, 随

后逐渐下降(图5-A)。在棉黑蚜发生高峰期(6月20日), 蛇床草种植区棉花上的种群数量极显著低于对照区棉花上的种群数量($F_{1,4}=22.082, P=0.009$), 罗勒种植区棉花上的种群数量显著低于对照区棉花上的种群数量($F_{1,4}=13.515, P=0.021$)。相较于对照区棉花, 蛇床草种植区棉花上棉黑蚜种群的减退率最高, 为77.21%, 其次是罗勒种植区棉花上棉黑蚜种群的减退率, 为56.56%, 两者均显著高于油菜种植区和薄荷种植区棉花上棉黑蚜种群的减退率, 分别仅为19.17%和13.89%(图5-B)。

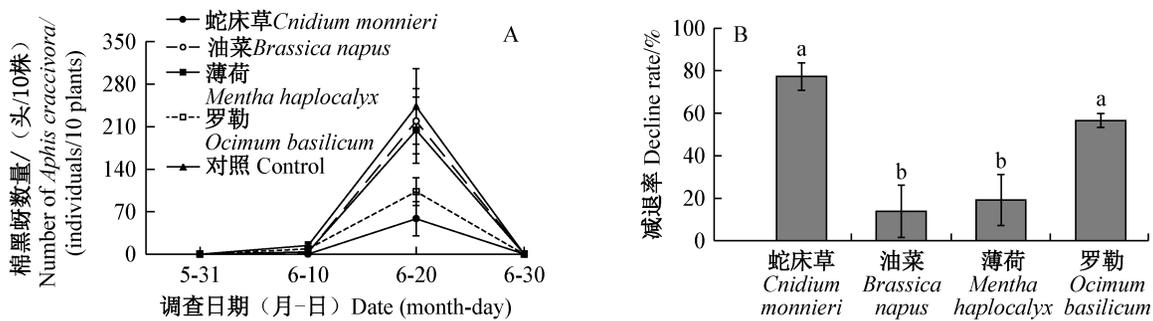


图5 不同功能植物种植区棉花上棉黑蚜种群的发生动态(A)及减退率(B)

Fig. 5 Population dynamics (A) and decline rate (B) of *Aphis craccivora* on cotton in different functional plant planting areas

图中数据为平均数±标准误。不同小写字母表示不同处理间减退率经 Duncan 氏新复极差法检验差异显著($P<0.05$)。Data in the figure are mean±SE. Different lowercase letters indicate significant difference among different treatments by Duncan's new multiple range test ($P<0.05$).

2.4 棉花上捕食性天敌与蚜虫种群间的相关性

通过对4种功能植物种植区棉花上和对照区棉花上捕食性天敌总数和不同蚜虫种群数量进行线性相关分析, 发现棉蚜和棉长管蚜的种群数量均与捕

食性天敌总数呈线性关系, 且棉蚜和棉长管蚜的种群数量均随着捕食性天敌总数的增加而减少, 均呈显著负相关关系(图6-A~B); 而棉黑蚜种群数量与捕食性天敌总数之间无显著相关性(图6-C)。

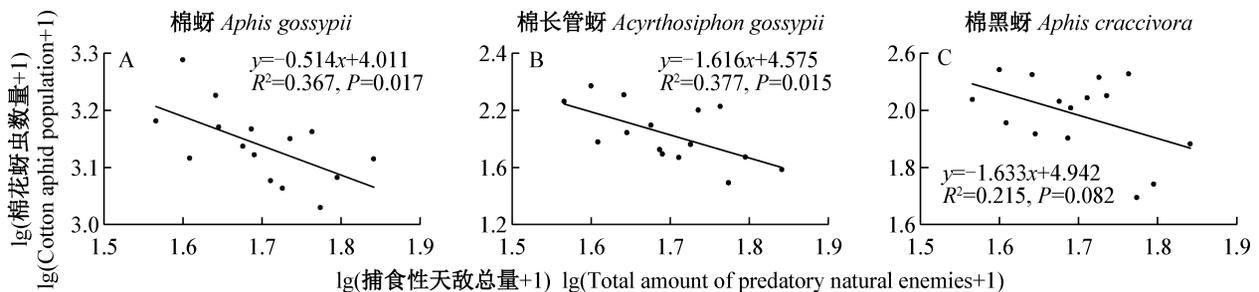


图6 棉花上捕食性天敌与蚜虫种群发生动态之间的相关关系

Fig. 6 Correlation between population sizes of predatory natural enemies and aphids in cotton fields

2.5 棉蚜及其捕食性天敌对功能植物的选择行为反应

2.5.1 捕食性天敌对蛇床草和罗勒的选择行为反应

蛇床草植株对中华通草蛉雌、雄成虫均有显著的吸引作用(雄: $\chi^2=5.120, df=1, P=0.024$; 雌: $\chi^2=3.920, df=1, P=0.048$), 且中华通草蛉雌、雄成虫对其的选择率无显著差异($\chi^2=0.044, df=1, P=0.834$);

蛇床草植株对多异瓢虫雌、雄成虫均有显著的吸引作用(雄: $\chi^2=9.680, df=1, P=0.002$; 雌: $\chi^2=8.000, df=1, P=0.005$), 且多异瓢虫雌、雄成虫对其的选择率无显著差异($\chi^2=0.049, df=1, P=0.826$)(图7)。

罗勒植株对中华通草蛉雌成虫有显著的吸引作用($\chi^2=6.480, df=1, P=0.011$), 对中华通草蛉雄成虫

无显著吸引作用($\chi^2=2.000, df=1, P=0.157$);且中华通草蛉雌、雄成虫对其的选择率无显著差异($\chi^2=0.694, df=1, P=0.405$);罗勒植株对多异瓢虫雌、雄成虫均具有显著的吸引作用(雄: $\chi^2=3.920, df=1, P=0.048$;雌: $\chi^2=3.920, df=1, P=0.048$),且多异瓢虫雌、雄成虫对其的选择率无显著差异($\chi^2=0.000, df=1, P=1.000$)(图7)。

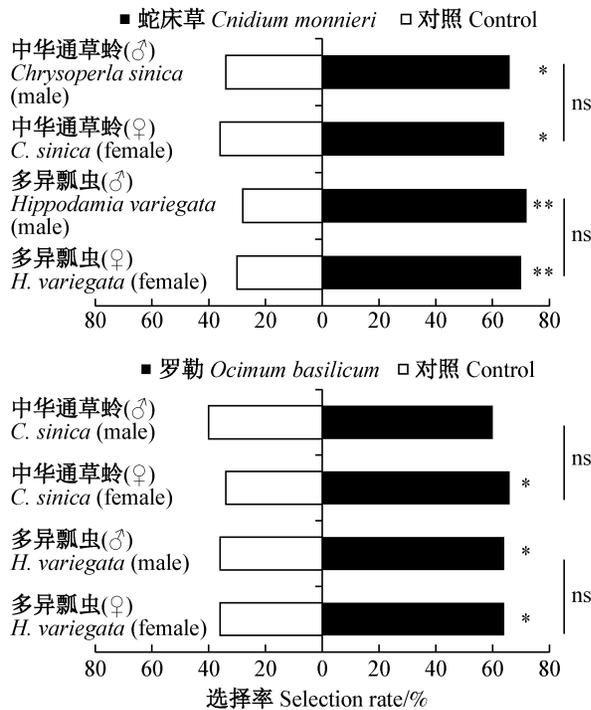


图7 主要捕食性天敌对蛇床草及罗勒植株的选择行为反应
Fig. 7 Olfactory behavioral response of main predatory natural enemies to *Cnidium monnieri* and *Ocimum basilicum* plants

*和**分别表示对照与处理之间经卡方检验法检验差异显著($P<0.05$ 和 $P<0.01$), ns表示同一昆虫雌、雄成虫之间经卡方检验法检验差异不显著。* or ** indicates significant difference between treatment and the control by χ^2 test ($P<0.05$ or $P<0.01$); ns indicates no significant difference between female and male adults for the same insect by χ^2 test.

2.5.2 棉蚜对罗勒和薄荷的选择行为反应

罗勒植株对棉蚜(有翅蚜)有显著的驱避作用($\chi^2=8.000, df=1, P=0.005$);薄荷植株对棉蚜(有翅蚜)也有显著的驱避作用($\chi^2=11.520, df=1, P=0.001$)(图8)。

3 讨论

在农业生态系统中,功能植物可以增加生物多样性,从而调控害虫及天敌种群,增强农业生态系统的功能和服务(赵紫华等,2012;戈峰等,2014;孙玉荣等,2017)。近年来,棉花的可持续生产越来越受

到重视,利用功能植物进行棉花病虫害防控也受到了广泛关注(Chi et al., 2021)。本研究在棉田周围种植对天敌有涵养作用的功能植物蛇床草和油菜及对害虫有驱避作用的功能植物薄荷和罗勒,不仅可以增加棉田的生物多样性,还能涵养捕食性天敌,驱避棉花蚜虫,以达到对棉花蚜虫及捕食性天敌种群的调控作用,结果显示这4种功能植物都能涵养多异瓢虫、方斑瓢虫、中华通草蛉、东亚小花蝽、大灰优食蚜蝇和三突花蛛等捕食性天敌,其中优势天敌主要为多异瓢虫、中华通草蛉和东亚小花蝽;且主要捕食性天敌在功能植物种植区棉花上的种群数量相较于对照区棉花上的种群数量均有一定程度的增加,而棉花蚜虫在功能植物种植区棉花上的种群数量相较于对照区棉花上的种群数量均有一定程度的降低。因此,与单作作物相比,种植功能植物可为天敌提供食物资源和栖息场所,增加天敌的种类和数量,进而增强天敌对害虫的控制效果(Hatt et al., 2017)。

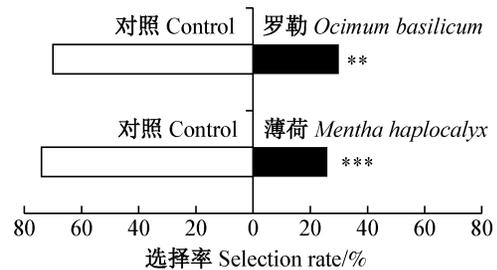


图8 棉蚜对罗勒及薄荷植株的选择行为反应

Fig. 8 Olfactory behavioral response of *Aphis gossypii* to *Ocimum basilicum* and *Mentha haplocalyx* plants

和*分别表示对照与处理之间经卡方检验法检验差异显著($P<0.01$ 和 $P<0.001$)。** or *** indicates significant difference between treatment and the control by χ^2 test ($P<0.01$ or $P<0.001$).

在农田种植功能植物可以起到吸引天敌或为天敌繁育提供场所的作用,功能植物通常能为天敌提供花粉、花蜜和替代猎物等食物资源,有利于天敌的生长、发育和繁殖等(尤士骏等,2019)。向日葵的花具有花外蜜腺,可为天敌提供溶解糖,在棉田周围种植向日葵,可以有效增加草蛉和瓢虫的种群数量(Bredeson & Lundgren, 2015);在棉田中种植紫花苜蓿 *Medicago sativa* 可以吸引棉蚜的天敌,并为天敌繁殖提供栖息场所(Bastola et al., 2016)。本研究供试的4种功能植物中,蛇床草涵养的天敌数量最多,对棉花上3种蚜虫的控制效果也最好,这与蛇床草能吸引天敌的特性有一定关系。Cai et al.(2020)研究结果表明蛇床草能够通过挥发物组分中的对二乙

苯和邻二乙苯吸引捕食性天敌异色瓢虫 *Harmonia axyridis*; 杨泉峰等(2018)研究也发现蛇床草能为瓢虫等提供花粉、花蜜及栖息场所,在麦田周边种植蛇床草可增加瓢虫向麦田的迁入量,加强对小麦蚜虫的控制作用。此外,在新疆石河子市,蛇床草于4月中下旬播种,6月上中旬进入花期,蛇床草的花可为天敌提供大量的食物资源,而棉花上3种蚜虫的发生期和蛇床草的花期相重合,因此蛇床草有利于促进对棉花蚜虫的生物控制效果。在山东、河北及河南等省,利用棉田套种油菜来增加天敌数量,进而有效控制苗蚜,推迟和减轻伏蚜的发生(迟宝杰和董合忠,2019)。本研究中功能植物油菜于4月中旬播种,5月下旬进入花期,由于其生长快且开花早,能为天敌提供补充营养和过渡场所,多异瓢虫和中华通草蛉在油菜上最先发生且种群数量逐渐增加,能有效涵养棉田早期天敌,减轻棉花蚜虫的发生程度。

在农田或果园种植具有驱虫作用的植物,利用这些植物的特殊气味可以直接驱避农田和果园害虫。如大蒜挥发物中的大蒜素具有辛辣气味,在棉田间作大蒜可有效驱避棉蚜,棉蚜种群数量减少了11%~87%(Chi et al., 2021);罗勒能有效驱避芥蓝 *Brassica oleracea* 田中的跳甲、菜螟和斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 等害虫,减轻其为害(Moreau et al., 2006);在梨园间作薄荷和罗勒能够有效降低蚜虫的种群数量(宋备舟等,2010;魏巍等,2010)。本研究利用薄荷和罗勒作为功能植物种植在棉田周围,调查发现在棉蚜和棉长管蚜的发生初期(6月10日),薄荷和罗勒种植区棉花上两者的种群数量都低于其他功能植物种植区棉花上和对照区棉花上的种群数量,这与棉花蚜虫早期从棉田外迁入时存在驱避植物薄荷和罗勒有关;而室内试验结果表明,薄荷和罗勒植株对棉蚜(有翅蚜)有显著的驱避效应,这与田间调查分析发现薄荷和罗勒对棉蚜有驱避作用的结果一致。此外,在田间调查时发现薄荷和罗勒也能涵养一定数量的捕食性天敌,尤其是在开花期有一定数量的多异瓢虫、中华通草蛉和东亚小花蝽等,这与本研究中罗勒植株能够有效吸引多异瓢虫和中华通草蛉的嗅觉行为反应结果相吻合。薄荷和罗勒的花粉及花蜜有为天敌昆虫提供营养、延长寿命和提供庇护所等功能,还能降低害虫的种群数量,从而达到生物控制的效果(Batista et al., 2017; Hatt et al., 2019; 杨亚洁等,2023)。因此,在棉田种植功能植物薄荷和罗勒不仅能对棉花蚜虫起到驱避作用,还能为天敌提供食物资源和栖息场所,增强对棉田蚜虫

及天敌的调控作用,减轻对棉花植株的为害。

在农田种植功能植物对害虫及其天敌进行生态调控,其控害效果会因害虫和天敌的种类及数量不同而不同。在农业生态系统中,害虫和天敌的种群数量处于一个动态变化过程,同时也受诸多因素的影响,在利用功能植物进行生态调控时,应尽量创造有利于天敌而不利于害虫生存的环境条件,以最大化发挥功能植物的调控潜能。下一步研究将结合棉花种植的规模化、机械化、智能化和信息化发展趋势,在区域性大尺度范围内通过优化功能植物布局来提高区域性农田景观的生物控害服务功能。

参 考 文 献 (References)

- Basedow T, Hua L, Aggarwal N. 2006. The infestation of *Vicia faba* L. (Fabaceae) by *Aphis fabae* (Scop.) (Homoptera: Aphididae) under the influence of Lamiaceae (*Ocimum basilicum* L. and *Satureja hortensis* L.). *Journal of Pest Science*, 79(3): 149–154
- Bastola A, Parajulee MN, Porter RP, Shrestha RB, Chen FJ, Carroll SC. 2016. Intercrop movement of convergent lady beetle, *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae), between adjacent cotton and alfalfa. *Insect Science*, 23(1): 145–156
- Batista MC, Fonseca MCM, Teodoro AV, Martins EF, Pallini A, Venzon M. 2017. Basil (*Ocimum basilicum* L.) attracts and benefits the green lacewing *Ceraeochrysa cubana* Hagen. *Biological Control*, 110: 98–106
- Bredeson MM, Lundgren JG. 2015. A survey of the foliar and soil arthropod communities in sunflower (*Helianthus annuus*) fields of central and eastern South Dakota. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 88(3): 305–315
- Cai ZP, Ouyang F, Su JW, Zhang XR, Liu CL, Xiao YL, Zhang JP, Ge F. 2020. Attraction of adult *Harmonia axyridis* to volatiles of the insectary plant *Cnidium monnieri*. *Biological Control*, 143: 104189
- Cai ZP. 2020. Effects of ecological regulation on spirea aphid (*Aphis spiraeicola*) and predatory natural enemies in apple orchards by three functional plants. PhD thesis. Shihezi: Shihezi University (in Chinese) [蔡志平. 2020. 三种功能植物对苹果园绣线菊蚜及其捕食性天敌的调控作用. 博士学位论文. 石河子: 石河子大学]
- Chen ZJ. 2021. Population regulation of *Ocimum gratissimum* L. volatile on *Apolygus lucorum* and natural enemies in tea plantation in Shandong Province. Master thesis. Tai'an: Shandong Agricultural University (in Chinese) [陈泽军. 2021. 丁香罗勒挥发物对山东茶园绿盲蝽和天敌的种群调控评价. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学]
- Chi BJ, Dong HZ. 2019. Prevention and controlling effect of intercropping on pests and diseases and its risk control in cotton fields. *Cotton Science*, 31(4): 341–351 (in Chinese) [迟宝杰, 董合忠. 2019. 间(套)作对棉田病虫害的防控效应及其风险控制. 棉花

- 学报, 31(4): 341-351]
- Chi BJ, Zhang DM, Dong HZ. 2021. Control of cotton pests and diseases by intercropping: a review. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(12): 3089-3100
- Ge F, Ouyang F, Zhao ZH. 2014. Ecological management of insects based on ecological services at a landscape scale. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(3): 597-605 (in Chinese) [戈峰, 欧阳芳, 赵紫华. 2014. 基于服务功能的昆虫生态调控理论. *应用昆虫学报*, 51(3): 597-605]
- Gurr GM, Wratten SD, Landis DA, You MS. 2017. Habitat management to suppress pest populations: progress and prospects. *Annual Review of Entomology*, 62: 91-109
- Hatt S, Lopes T, Boeraeve F, Chen JL, Francis F. 2017. Pest regulation and support of natural enemies in agriculture: experimental evidence of within field wildflower strips. *Ecological Engineering*, 98: 240-245
- Hatt S, Xu QX, Francis F, Osawa N. 2019. Aromatic plants of East Asia to enhance natural enemies towards biological control of insect pests: a review. *Entomologia Generalis*, 38(4): 275-315
- Huang Y, Wu PZ, Zheng JY, Zhang Y, Qiu LH. 2022. Status of resistance to chemical insecticides in cotton bollworm *Helicoverpa armigera* and research progresses on the molecular mechanisms. *Journal of Plant Protection*, 49(1): 336-350 (in Chinese) [黄云, 吴沛卓, 郑钧月, 张瑜, 邱立红. 2022. 棉铃虫对化学杀虫剂的抗性现状及分子机制研究进展. *植物保护学报*, 49(1): 336-350]
- Jaworski CC, Xiao D, Xu QX, Ramirez-Romero R, Guo XJ, Wang S, Desneux N. 2019. Varying the spatial arrangement of synthetic herbivore-induced plant volatiles and companion plants to improve conservation biological control. *Journal of Applied Ecology*, 56(5): 1176-1188
- Jiang YY, Liu J, Zeng J, Xia B, Lu YH. 2021. Monitoring and forecast of cotton pests in China: a review over the past 70 years. *Journal of Plant Protection*, 48(5): 940-946 (in Chinese) [姜玉英, 刘杰, 曾娟, 夏冰, 陆宴辉. 2021. 中国棉花害虫测报: 70年回顾. *植物保护学报*, 48(5): 940-946]
- Li JH, Li HQ, Yang F, Wu YK, Zhang JP, Lu YH. 2021. A molecular detection approach for assessing cotton aphid-primary parasitoid-hyperparasitoid food webs in Xinjiang, China. *Journal of Plant Protection*, 48(5): 970-979 (in Chinese) [李金花, 李海强, 杨帆, 吴月坤, 张建萍, 陆宴辉. 2021. 新疆棉花蚜虫-寄生蜂食物网结构的分子检测体系. *植物保护学报*, 48(5): 970-979]
- Li N. 2021. The influence of different pesticides on cotton aphids and natural enemies in Xinjiang. Master thesis. Urumqi: Xinjiang Agricultural University (in Chinese) [李娜. 2021. 不同杀虫剂对新疆棉蚜虫及天敌种群发生的影响. 硕士学位论文. 乌鲁木齐: 新疆农业大学]
- Liu JP. 2021. The response of *Aphis gossypii* and *Acyrtosiphon gossypii* from Xinjiang cotton-growing region to heat stress and its molecular mechanism. PhD thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences (in Chinese) [刘金萍. 2021. 新疆棉区棉蚜和棉长管蚜对高温胁迫的响应及分子机制. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院]
- Lu YH, Liang GM, Zhang YJ, Yang XM. 2020. Advances in the management of insect pests of cotton in China since the 21st century. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(3): 477-490 (in Chinese) [陆宴辉, 梁革梅, 张永军, 杨现明. 2020. 二十一世纪以来棉花害虫治理成就与展望. *应用昆虫学报*, 57(3): 477-490]
- Luo JY, Zhang S, Wang CY, Lü LM, Li CH, Cui JJ. 2014. Ecological effects of different trap crop to sucking pests and natural enemies in cotton fields. *China Cotton*, 41(8): 14-16 (in Chinese) [雒珺瑜, 张帅, 王春义, 吕丽敏, 李春花, 崔金杰. 2014. 不同诱集作物对棉田刺吸性害虫及其天敌的生态作用比较. *中国棉花*, 41(8): 14-16]
- Ma XM, Liu XX, Zhang QW, Zhao JZ, Cai QN, Ma YA, Chen DM. 2006. Assessment of cotton aphids, *Aphis gossypii*, and their natural enemies on aphid-resistant and aphid-susceptible wheat varieties in a wheat-cotton relay intercropping system. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 121(3): 235-241
- Moreau TL, Warman PR, Hoyle J. 2006. An evaluation of companion planting and botanical extracts as alternative pest controls for the Colorado potato beetle. *Biological Agriculture & Horticulture*, 23(4): 351-370
- Pan MZ, Zhang Y, Cao HH, Wang XX, Liu TX. 2022. Research progresses, application, and prospects in aphid biological control on main crops in China. *Journal of Plant Protection*, 49(1): 146-172 (in Chinese) [潘明真, 张毅, 曹贺贺, 王杏杏, 刘同先. 2022. 我国主要农作物蚜虫生物防治的研究进展、应用与展望. *植物保护学报*, 49(1): 146-172]
- Redlich S, Martin EA, Steffan-Dewenter I. 2018. Landscape-level crop diversity benefits biological pest control. *Journal of Applied Ecology*, 55(5): 2419-2428
- Siddiqui S, Abro GH, Syed TS, Buriro AS. 2018. Influence of trap crops on management of insect pests by exploitation of heteropteran predatory bugs in cotton. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 31(3): 274-278
- Song BZ, Wang MC, Kong Y, Yao YC, Wu HY, Li ZR. 2010. Interaction of the dominant pests and natural enemies in the experimental plots of the intercropping aromatic plants in pear orchard. *Scientia Agricultura Sinica*, 43(17): 3590-3601 (in Chinese) [宋备舟, 王美超, 孔云, 姚允聪, 吴红英, 李振茹. 2010. 梨园芳香植物间作区主要害虫及其天敌的相互关系. *中国农业科学*, 43(17): 3590-3601]
- Song HY, Li LL, Song YY, Ouyang F, Yu Y, Hu CL, Lu ZB, Men XY. 2021. Effects of cotton planting area and fragmentation on the abundance of cotton aphid *Aphis gossypii*. *Journal of Plant Protection*, 48(5): 1069-1074 (in Chinese) [宋海燕, 李丽莉, 宋莹莹, 欧阳芳, 于毅, 胡辰璐, 卢增斌, 门兴元. 2021. 棉花生境面积及其破碎化对棉蚜数量的影响. *植物保护学报*, 48(5): 1069-1074]
- Sun MM, Chen JH, Yao HY, Chai WG, Chen RX. 2016. Repellent effect of 7 non-host plants on main cabbage insect pests. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 28(8): 1374-1380 (in Chinese) [孙梅梅, 湛江华, 姚红燕, 柴伟纲, 陈若霞. 2016. 七种非寄主植物对

- 甘蓝主要害虫的田间驱避作用. 浙江农业学报, 28(8): 1374-1380]
- Sun YR, Luo XL, Zeng YY, Zhao ZH. 2017. Types of functional plant and its bio-controlling effect in agricultural landscape. China Plant Protection, 37(9): 21-28 (in Chinese) [孙玉荣, 罗晓玲, 曾译影, 赵紫华. 2017. 农田景观中功能植物的类型及其生物控害作用. 中国植保导刊, 37(9): 21-28]
- Wang W, Yao J, Li HB, Zhang Y, Wang D, Ma GL. 2011. Comparative study on conservation of natural enemy in cotton field by different rapes in Xinjiang. Plant Protection, 37(3): 142-145 (in Chinese) [王伟, 姚举, 李号宾, 张瑜, 王东, 马国兰. 2011. 棉田周缘种植不同品种油菜诱集带增益控害效果初步研究. 植物保护, 37(3): 142-145]
- Wei W, Kong Y, Zhang YP, Wang MC, Li ZR, Yao YC. 2010. The relationship among aphids and natural enemies in the different aromatic plants intercropping plots of pear orchard. Acta Ecologica Sinica, 30(11): 2899-2908 (in Chinese) [魏巍, 孔云, 张玉萍, 王美超, 李振茹, 姚允聪. 2010. 梨园芳香植物间作区蚜虫与天敌类群的相互关系. 生态学报, 30(11): 2899-2908]
- Wu N, Zhang YD, Cai XH, Shi YH, Han R, Wang JG. 2020. Studies on the activities of related enzymes of *Aphis gossypii* after feeding cotton damaged by *Acyrtosiphon gossypii*. Xinjiang Agricultural Sciences, 57(11): 2056-2064 (in Chinese) [吴娜, 张玉栋, 蔡晓虎, 史亚辉, 韩睿, 王俊刚. 2020. 棉蚜取食被棉长管蚜危害棉花后其相关酶的活性. 新疆农业科学, 57(11): 2056-2064]
- Yang QF, Ouyang F, Men XY, Ge F. 2018. Discovery and utilization of a functional plant, rich in the natural enemies of insect pests, in northern China. Chinese Journal of Applied Entomology, 55(5): 942-947 (in Chinese) [杨泉峰, 欧阳芳, 门兴元, 戈峰. 2018. 北方富含天敌的功能植物的发现与应用. 应用昆虫学报, 55(5): 942-947]
- Yang QF, Ouyang F, Men XY, Ge F. 2020. Functional plants: current uses and future research. Chinese Journal of Applied Entomology, 57(1): 41-48 (in Chinese) [杨泉峰, 欧阳芳, 门兴元, 戈峰. 2020. 功能植物的作用原理、方式及研究展望. 应用昆虫学报, 57(1): 41-48]
- Yang YJ, Li S, Fang Y, Wang S, Yue YL, Gu JJ. 2023. Olfactory behavioral response of *Chrysopa pallens* to aromatic plant *Ocimum basilicum* and its major volatiles in different periods. Journal of Environmental Entomology, 45(4): 1063-1071 (in Chinese) [杨亚洁, 李姝, 方艳, 王甦, 岳艳丽, 顾俊杰. 2023. 大草蛉对不同时芳香植物甜罗勒及其主要挥发物质的嗅觉行为反应. 环境昆虫学报, 45(4): 1063-1071]
- You SJ, Zhang J, Li JY, Chen YT, Liu TS, Niu DS, You MS. 2019. Theory and practice of utilizing biodiversity to enhance pest control in agroecosystems. Chinese Journal of Applied Entomology, 56(6): 1125-1147 (in Chinese) [尤士骏, 张杰, 李金玉, 陈燕婷, 刘天生, 牛东升, 尤民生. 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]
- Zhang XR, Ouyang F, Su JW, Li Z, Yuan YY, Sun YC, Sarkar SC, Xiao YL, Ge F. 2022. Intercropping flowering plants facilitate conservation, movement and biocontrol performance of predators in insecticide-free apple orchard. Agriculture, Ecosystems & Environment, 340: 108157
- Zhao ZH, Ouyang F, He DH. 2012. Edge effects and spillover effects of natural enemies on different habitat interfaces of agricultural landscape. Scientia Sinica (Vitae), 42(10): 825-840 (in Chinese) [赵紫华, 欧阳芳, 贺达汉. 2012. 农业景观中不同生境界面麦蚜天敌的边缘效应与溢出效应. 中国科学: 生命科学, 42(10): 825-840]
- Zhao ZH, Ouyang F, Men XY, Liu JH, He DH, Ge F. 2013. Habitat management in biological control. Chinese Journal of Applied Entomology, 50(4): 879-889 (in Chinese) [赵紫华, 欧阳芳, 门兴元, 刘军和, 贺达汉, 戈峰. 2013. 生境管理: 保护性生物防治的发展方向. 应用昆虫学报, 50(4): 879-889]

(责任编辑: 李美娟)