

多异瓢虫在 3 种豆科杂草上的种群动态及其趋性行为反应

姜 岩¹, 陈 鑫^{1,2}, 宋冰梅^{1,3}, 张 宇⁴, 程宛楠⁴, 潘洪生^{1*}

(1. 新疆农业科学院植物保护研究所, 国家植物保护库尔勒观测实验站, 乌鲁木齐 830091; 2. 新疆农业大学农学院, 棉花教育部工程研究中心, 乌鲁木齐 830052; 3. 新疆大学生命科学与技术学院, 新疆生物资源和基因工程重点实验室, 乌鲁木齐 830046; 4. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193)

摘要 为阐明田埂杂草对多异瓢虫 *Hippodamia variegata* 的保育作用以及多异瓢虫对其趋性行为反应, 为棉田蚜虫等害虫的绿色防控奠定重要的理论基础, 本文采用种群系统调查法研究新疆棉区田埂 3 种常见豆科杂草(甘草 *Glycyrrhiza uralensis*、骆驼刺 *Alhagi camelorum*、苦豆子 *Sophora alopecuroides*) 上多异瓢虫和棉黑蚜 *Aphis atrata* 的种群动态并分析二者的相关性, 同时通过 Y 形嗅觉仪测试多异瓢虫雌雄成虫对 3 种豆科杂草不同处理的趋性行为反应。结果表明: 5 月下旬至 6 月下旬, 田埂 3 种豆科杂草上多异瓢虫成虫和幼虫的种群密度均较高, 最大值分别达 1.35~2.80 头/m² 和 0.93~1.80 头/m², 在这一时期每种豆科杂草上多异瓢虫的猎物棉黑蚜种群密度也较高; 在整个调查期间 3 种豆科杂草上多异瓢虫与棉黑蚜的种群密度均显著相关, 相关系数分别为 0.923(甘草)、0.774(骆驼刺)、0.839(苦豆子)。同时, 多异瓢虫雌雄成虫对 3 种豆科杂草不同处理间的趋性选择反应相似, 均为棉黑蚜为害植株>棉黑蚜>健康植株>空白, 且多异瓢虫对棉黑蚜为害株的选择性均显著大于相应的健康株。因此, 新疆棉区田埂 3 种豆科杂草上的棉黑蚜对多异瓢虫早春种群具有重要的保育作用。

关键词 多异瓢虫; 棉黑蚜; 豆科杂草; 非作物生境; 行为反应

中图分类号: S 476.2 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2022529

Population dynamics of *Hippodamia variegata* and its behavioral response to three leguminous weeds

JIANG Yan¹, CHEN Xin^{1,2}, SONG Bingmei^{1,3}, ZHANG Yu⁴, CHENG Wannan⁴, PAN Hongsheng^{1*}

(1. National Plant Protection Scientific Observation and Experimental Station of Korla, Institute of Plant Protection, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China; 2. Engineering Research Center of Cotton, Ministry of Education, College of Agriculture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 3. College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Xinjiang Key Laboratory of Biological Resources and Genetic Engineering, Urumqi 830046, China; 4. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract This study aimed to clarify the conservation effects of three leguminous weeds (*Glycyrrhiza uralensis*, *Alhagi camelorum*, *Sophora alopecuroides*) on *Hippodamia variegata* inhabiting on the ridge of cotton fields, and explore the behavioral responses of *H. variegata* to three leguminous weeds under different treatments, in order to lay an important theoretical foundation for the green prevention and control of aphids and other pests in cotton fields. The population dynamics of *H. variegata* and *Aphis atrata* on three leguminous weeds was studied through systematic survey. Meanwhile, the behavioral responses of female and male *H. variegata* adults to three leguminous weeds under different treatments were observed by using Y-tube olfactometer. The results showed that the population densities of *H. variegata* adults and larvae on three leguminous weeds were the highest from late-May to late-June, and the maximum densities reached 1.35–2.80 individuals and 0.93–1.80 individuals per

收稿日期: 2022-08-29 修订日期: 2022-09-18

基金项目: 国家自然科学基金(32060617); 新疆农业科学院科技创新重点培育专项(xjkcpy-2020004); 天山创新团队计划(2020D14004)

* 通信作者 E-mail: panhongsheng0715@163.com

square meter, respectively; the population densities of *A. atrata* was also higher during this periods. There was a significant correlation between the population densities of *H. variegata* and *A. atrata* on each leguminous weed during the whole investigation periods, and the correlation coefficients were 0.923 (*G. uralensis*), 0.774 (*A. camelorum*), 0.839 (*S. alopecuroides*), respectively. Behavioral responses of female and male *H. variegata* adults to three leguminous weeds under different treatments were all consistent, and the ranking was healthy plants damaged by *A. atrata* > *A. atrata* > healthy plants > blank. There were significant differences in selectivity for *A. atrata* between healthy and damaged plants for each leguminous weed. Therefore, *A. atrata* on three leguminous weeds in Xinjiang cotton fields plays an important conservation role for *H. variegata* during spring.

Key words *Hippodamia variegata*; *Aphis atrata*; leguminous weed; non-crop habitat; behavioral response

棉花是全球纺织行业的主要材料^[1],我国则是全球棉花最大生产国和加工国之一^[2]。2021 年,新疆棉花播种面积为 250.6 万 hm²、产量为 512.9 万 t,分别占全国棉花种植面积的 82.76%和棉花产量的 89.50%^[3],已经连续 27 年居全国首位^[1]。因此,棉花在新疆经济发展过程中有着举足轻重的作用,是关系到民生的战略性物资^[4]。蚜虫是新疆棉田三大害虫之一^[5],其通过刺吸式口器取食棉花植株汁液,造成叶片卷曲变形、光合作用降低^[6],同时能够传播包括黄瓜花叶病毒(cucumber mosaic virus)^[7]、黄病毒(cucurbit aphid-borne yellows virus)^[8]和玉米矮花叶病毒(maize dwarf mosaic virus)^[9]等多种植物病毒^[10]。蚜虫种群密度高、个体小,繁殖周期短且繁殖能力强^[11],一旦在棉田暴发会造成非常严重的经济损失^[12]。目前,对于蚜虫的防治很大程度上依赖化学药剂,然而其抗药性不断增强^[13],亟须开发具有持续性生态效应的绿色防控手段,其中保护和利用自然天敌成为实现棉田蚜虫绿色防控的重要途径^[14-15]。多异瓢虫 *Hippodamia variegata* 在新疆棉区发生较早^[16]、种群数量大,能够捕食多种害虫,且捕食量大^[17-18],是新疆棉区蚜虫的优势捕食性天敌^[19]。因此,保护和利用多异瓢虫是实现新疆棉区蚜虫生物防治的一种重要措施。

农业生态系统指以种植农作物为主的生态系统,主要包括作物生境和周围的非作物生境^[20]。大量研究表明,农业生态系统中的非作物生境能够为天敌提供替代猎物和避难所^[21-22],其中的边缘效应和溢出效应也能够促进天敌的迁移活动,调控天敌的控害功能,减少虫害的发生和再猖獗,对保育天敌和防控害虫均有着重要的意义^[23]。利用非作物生境保育天敌进行生物防治的前提是系统地调查非作物生境中天敌与害虫的发生及种群动态,详尽地研

究天敌定位非作物生境中植物的过程及线索,综合评价其对天敌及害虫的作用^[24]。甘草 *Glycyrrhiza uralensis*、骆驼刺 *Alhagi camelorum* 和苦豆子 *Sophora alopecuroides* 是新疆棉区非作物生境中常见的 3 种豆科杂草^[25-26]。本研究首先对棉田田埂这 3 种豆科杂草上多异瓢虫与棉黑蚜 *Aphis atrata* 种群动态进行了系统调查,同时利用 Y 形嗅觉仪测试多异瓢虫对 3 种豆科杂草不同处理的趋性行为反应,为合理利用非作物生境保育多异瓢虫,实现新疆地区棉田蚜虫的绿色防控提供重要的科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫与植物

试验所用多异瓢虫成虫及棉黑蚜均采自国家植物保护库尔勒观测实验站(新疆巴州库尔勒市和什力克乡库勒村,41.75°N, 85.81°E)棉田周边田埂的甘草、骆驼刺和苦豆子上。其中多异瓢虫采用实验室连续饲养多代的桃蚜 *Myzus persicae* 饲养于 20 cm×10 cm×6 cm 的塑料养虫盒中,室内饲养环境条件为温度(25±2)℃,相对湿度(60±5)%,光周期 L//D=14 h//10 h。取第二代 5~8 日龄的多异瓢虫雌雄成虫,饥饿 24 h 后用 Y 形嗅觉仪测试。

3 种供试豆科杂草甘草、骆驼刺和苦豆子选自国家植物保护库尔勒观测实验站周边不使用任何农药的棉田田埂上。供试植物发芽后,每种杂草用 2 个 3 m×1 m×2 m 的 80 目防虫网罩住,防止植食性昆虫和螨类为害。其中一个为健康植株处理,另外一个为棉黑蚜为害植株处理,即每种杂草进入苗期后、株高约 50 cm 时,用剪刀剪取田间自然发生的棉黑蚜,接在棉黑蚜为害植株处理罩笼中的每种杂草上,每株接棉黑蚜 400 头左右,为害 48 h 后从顶端截取长 20 cm 含有 200 头左右棉黑蚜的植株用 Y 形

嗅觉仪测试。

1.2 3种豆科杂草上多异瓢虫和棉黑蚜的种群动态

试验在国家植物保护库勒观测实验站开展,分别选取棉田田埂上宽约1 m,长度20 m的甘草、骆驼刺和苦豆子带各3个小区,每个小区调查5点,每点调查面积为1 m²(1 m×1 m)。5月中旬至8月中旬,采用目测法分别调查并记录其上多异瓢虫成虫、幼虫及棉黑蚜的种群数量,每7 d调查1次,同时记录3种豆科杂草的生育期。试验期间3种豆科杂草带均不施用任何化学农药。

1.3 多异瓢虫对3种豆科杂草的趋性行为反应

参考Pan等^[27]的方法,利用Y形嗅觉仪测试多异瓢虫对3种豆科杂草不同处理的趋性行为反应。试验共设置4个处理:空白、棉黑蚜(200头)、健康植株和棉黑蚜为害48 h的植株。试验用Y形嗅觉仪由内径为3.0 cm的无色透明玻璃制成,其基部(C臂)及两臂(A、B臂)长均为15 cm,两臂夹角60°。Y形嗅觉仪放置在100 cm×100 cm×60 cm的暗室中,嗅觉仪上方40 cm处挂有1个40 W的日光灯(光强700 lx)。基部与瓢虫成虫的释放管相连接,两臂用Teflon管分别连接放置不同试验处理的味源瓶。用大气采样仪作为气流动力系统,气流进入味源瓶前经过活性炭过滤,以及蒸馏水加湿,气体流速设定为0.4 L/min。

将单头多异瓢虫成虫释放入Y形管C臂观察,当瓢虫处于C管长1/2处开始计时。根据前期测试结果,按照下述标准进行评判:当瓢虫越过A或B臂3 cm处且在此区域内停留5 s以上时,记为做出选择;当放入瓢虫3 min后无明显选择趋向,则记为无反应。每头瓢虫只测试1次,每测试2头交换A、B两臂位置及气流方向,每测试4头更换Y形管,每测试30头更换不同处理中的植物材料。每处理雌雄瓢虫成虫各测试60头。每天测试完成后用丙酮清洗Y形管、味源瓶及连接胶管。

选择率 = $\frac{\text{做出某种选择的多异瓢虫数量}}{\text{所有做出选择的多异瓢虫数量}} \times 100\%$ 。

1.4 数据统计与分析

采用Microsoft Excel 2003和SPSS 20对所有数据进行统计分析。3种豆科杂草上棉黑蚜和多异瓢虫种群数量均换算为每平方米虫量,用每平方米多异瓢虫成虫和幼虫总数与棉黑蚜进行相关性分

析,通过皮尔逊相关系数(r)来描述相关程度: $0 \leq |r| \leq 0.3$ 为微弱相关; $0.3 < |r| \leq 0.5$ 为低度相关; $0.5 < |r| \leq 0.8$ 为显著相关; $0.8 < |r| < 1$ 为高度相关; $|r| = 1$ 为完全线性相关^[28]。Y形嗅觉仪测试中,成虫在两处理间是否呈假设 H_0 为50:50的理论分布用 χ^2 检验,计算 χ^2 值和相应的显著性水平 P 值,未做出选择的多异瓢虫不列入统计分析内。

2 结果与分析

2.1 3种豆科杂草上多异瓢虫和棉黑蚜的种群动态

甘草上,多异瓢虫成虫和幼虫均在5月下旬至6月下旬进入盛发期,并于6月7日种群数量达到最大值(成虫:2.80头/m²;幼虫:1.80头/m²),然后逐渐下降,7月12日种群数量趋近于零;棉黑蚜种群发生动态与多异瓢虫种群趋势相似,即多异瓢虫种群数量较多时,棉黑蚜种群数量也较多(图1a)。同时,在整个调查期间甘草上多异瓢虫与棉黑蚜种群数密度高度相关,相关系数为 $r = 0.923$ ($P < 0.001$)。

骆驼刺上,多异瓢虫成虫和幼虫也于5月下旬至6月下旬进入盛发期,并分别于6月14日和6月21日种群数量达到最大值(成虫:2.19头/m²;幼虫:1.45头/m²),然后逐渐下降,7月19日种群数量趋近于零;棉黑蚜种群发生动态与多异瓢虫种群趋势相似,且棉黑蚜的盛发期(5月17日—6月7日)、达到种群数量最大值日期(6月7日)和种群趋近于零日期(7月12日)均较多异瓢虫提前7~14 d(图1b)。并且,在整个调查期间骆驼刺上多异瓢虫发生量与棉黑蚜种群数量显著相关,相关系数为 $r = 0.774$ ($P = 0.001$)。

苦豆子上,多异瓢虫成虫和幼虫均在5月下旬至6月下旬进入盛发期,并于6月21日种群数量达到最大值(成虫:1.35头/m²;幼虫:0.93头/m²),然后逐渐下降,7月12日种群数量趋近于零;棉黑蚜种群发生动态同样与多异瓢虫种群趋势相似,且棉黑蚜的盛发期(5月17日至6月14日)和达到种群数量最大值日期(6月14日)较多异瓢虫提前7 d左右(图1c)。并且,在整个调查期间苦豆子上多异瓢虫发生量与棉黑蚜种群数量高度相关,相关系数为 $r = 0.839$ ($P < 0.001$)。

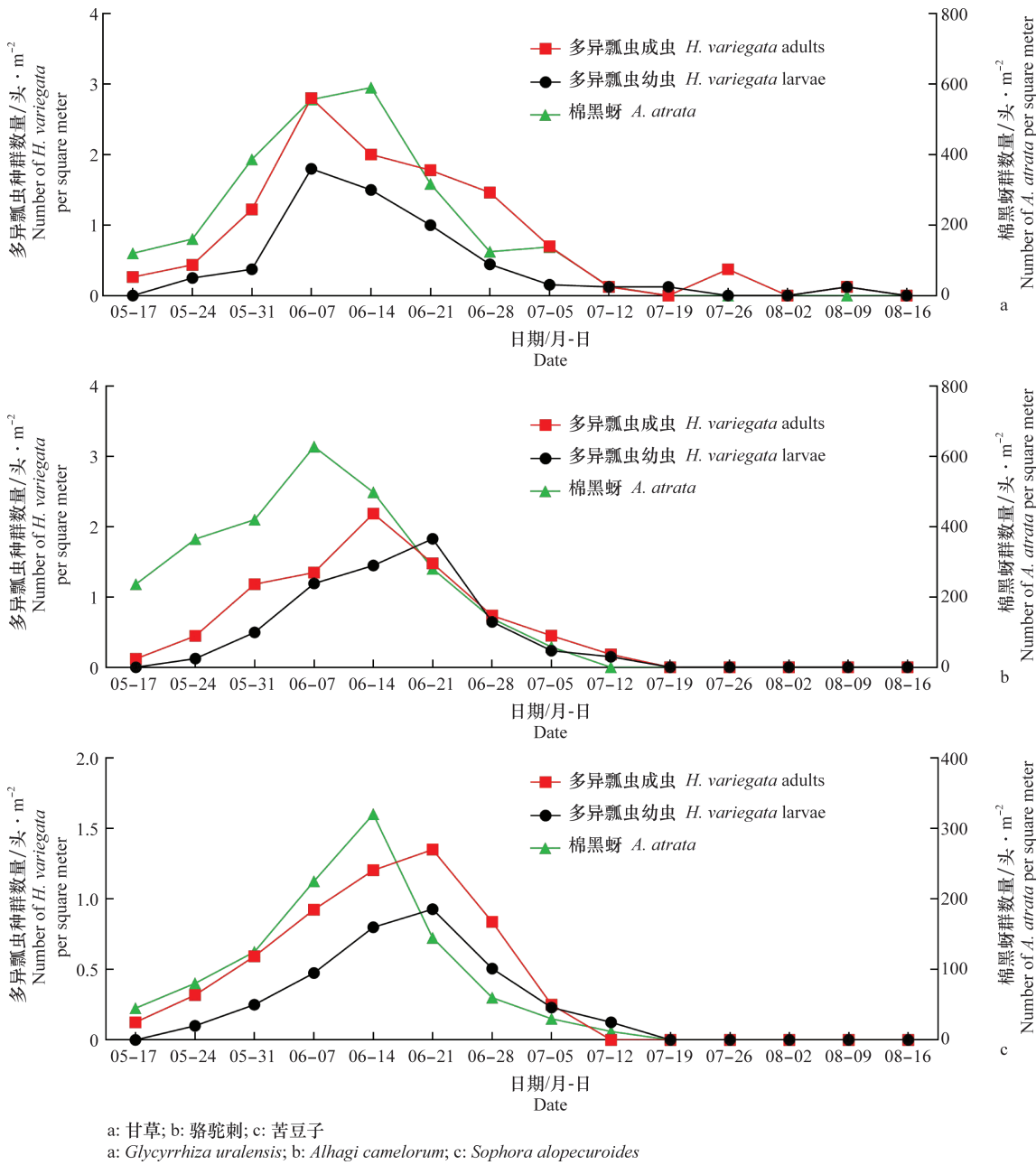


图 1 3 种豆科杂草上多异瓢虫和棉黑蚜的种群动态

Fig. 1 Population dynamics of *Hippodamia variegata* and *Aphis atrata* on three leguminous weeds

2.2 多异瓢虫对 3 种豆科杂草的趋性行为反应

多异瓢虫雌雄成虫对甘草不同处理的趋性行为反应结果基本一致。具体表现在:多异瓢虫雌雄成虫对棉黑蚜的选择率均极显著大于空白对照(雌: $\chi^2 = 9.60, P = 0.002$; 雄: $\chi^2 = 6.90, P = 0.009$);对棉黑蚜的选择率均显著大于健康甘草植株(雌: $\chi^2 = 3.95, P = 0.047$; 雄: $\chi^2 = 4.90, P = 0.027$);对棉黑蚜为害的甘草植株的选择率均显

著大于棉黑蚜(雌: $\chi^2 = 4.57, P = 0.033$; 雄: $\chi^2 = 4.27, P = 0.039$);对棉黑蚜为害的甘草植株的选择率显著大于健康甘草植株(雌: $\chi^2 = 6.67, P = 0.010$; 雄: $\chi^2 = 5.59, P = 0.018$)。综上所述,多异瓢虫雌雄成虫对甘草不同处理的趋性行为反应排序为:棉黑蚜为害的甘草植株>棉黑蚜>健康甘草植株>空白(图 2a)。

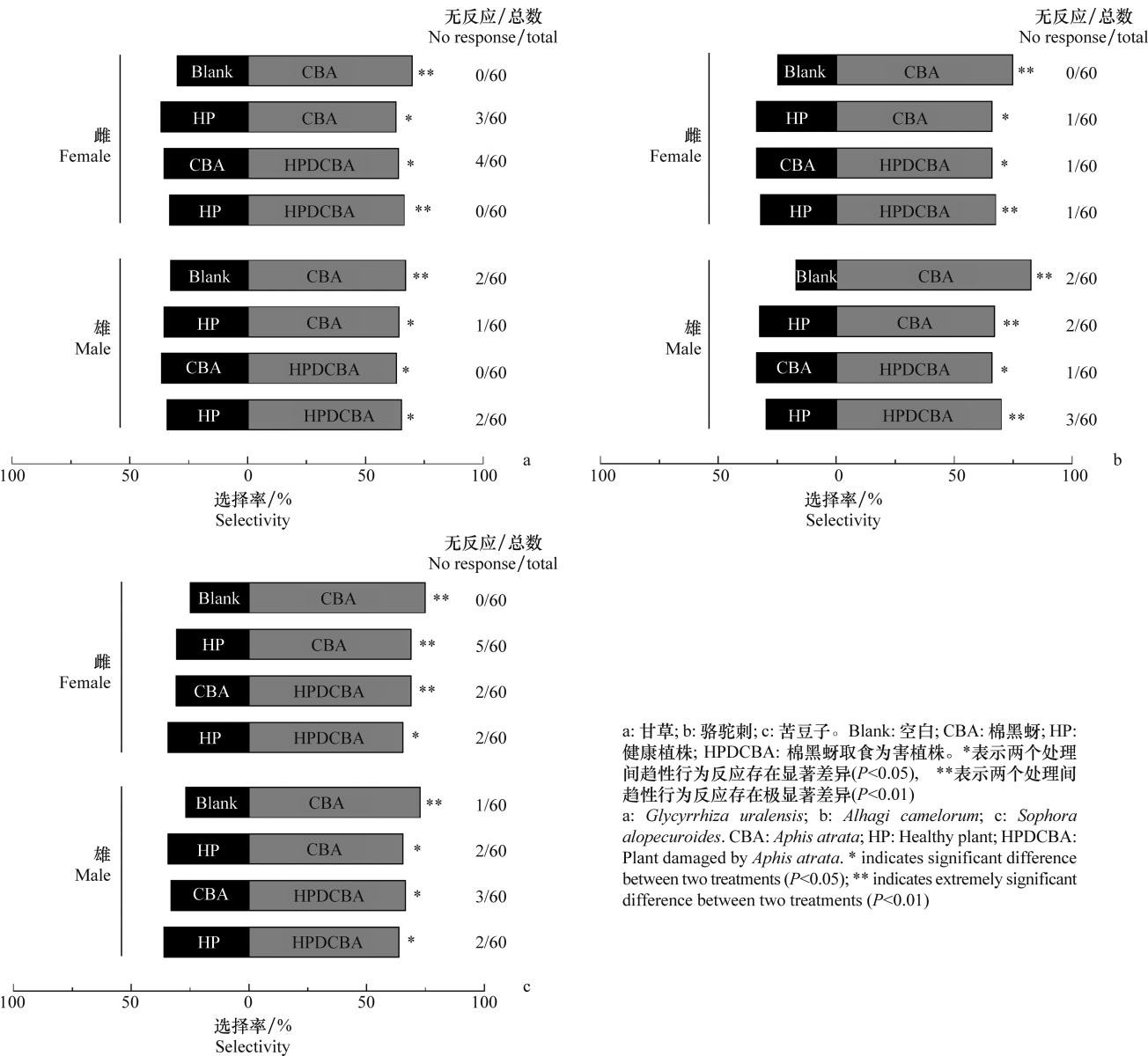


图 2 多异瓢虫雌雄成虫对 3 种豆科杂草不同处理间的趋性行为反应

Fig. 2 Behavioral responses of female and male *Hippodamia variegata* adults to three leguminous weeds under different treatments

多异瓢虫雌雄成虫对骆驼刺不同处理的趋性行为反应结果也基本一致。多异瓢虫雌雄成虫对棉黑蚜的选择率均极显著大于空白对照(雌: $\chi^2=15.00$, $P<0.001$;雄: $\chi^2=24.90$, $P<0.001$);对棉黑蚜的选择率均显著大于健康骆驼刺植株(雌: $\chi^2=6.12$, $P=0.013$;雄: $\chi^2=6.90$, $P=0.009$);对棉黑蚜为害的骆驼刺植株的选择率均显著大于棉黑蚜(雌: $\chi^2=6.12$, $P=0.013$;雄: $\chi^2=6.12$, $P=0.013$);对棉黑蚜为害的骆驼刺植株的选择率极显著大于健康骆驼刺植株(雌: $\chi^2=7.48$, $P=0.006$;雄: $\chi^2=9.28$, $P=0.002$)。因此,多异瓢虫雌雄成虫对骆驼刺不同处

理的趋性行为反应排序为:棉黑蚜为害的骆驼刺植株>棉黑蚜>健康骆驼刺植株>空白(图 2b)。

多异瓢虫雌雄成虫对苦豆子不同处理的趋性行为反应结果基本一致。多异瓢虫雌雄成虫对棉黑蚜的选择率均极显著大于空白对照(雌: $\chi^2=15.00$, $P<0.001$;雄: $\chi^2=12.36$, $P<0.001$);对棉黑蚜的选择率均显著大于健康苦豆子植株(雌: $\chi^2=8.02$, $P=0.005$;雄: $\chi^2=5.59$, $P=0.018$);对棉黑蚜为害的苦豆子植株的选择率均显著大于棉黑蚜(雌: $\chi^2=8.35$, $P=0.004$;雄: $\chi^2=6.33$, $P=0.012$);对棉黑蚜为害的苦豆子植株的选择率显

著大于健康苦豆子植株(雌: $\chi^2=5.59, P=0.018$; 雄: $\chi^2=4.41, P=0.036$)。总的来说,多异瓢虫雌雄成虫对苦豆子不同处理的趋性行为反应排序为:棉黑蚜为害的苦豆子植株>棉黑蚜>健康苦豆子植株>空白(图 2c)。

3 结论与讨论

本文通过田间系统调查发现,早春田埂 3 种豆科杂草上多异瓢虫种群密度较高,同一时期其上棉黑蚜种群密度也较高,且两者之间具有显著的相关性;Y 形嗅觉仪测试表明,多异瓢虫雌雄成虫均显著偏向选择棉黑蚜为害后的 3 种豆科杂草。这与其他对非作物生境^[22,29-30]和瓢虫行为反应^[31-34]的研究结果相似,即非作物生境通过提供替代猎物和栖息地来有效保育天敌,保证其后期向作物生境迁移,行使生物控害的功能^[23,35],同时被害虫为害的植株释放的挥发性物质对瓢虫的趋性选择行为有十分重要的作用^[36-37]。

本研究涉及的 3 种豆科杂草均为多年生草本植物^[38-40],出苗较早^[41-43],其上棉黑蚜的发生也较早,本课题组前期调查研究表明,多异瓢虫每日捕食棉黑蚜最高可达 157.30 头^[17]。因此,早春这 3 种豆科杂草上的棉黑蚜为多异瓢虫提供了丰富的食物资源,对其具有重要的保育作用。其次,大量研究表明,花粉、花蜜可以维持捕食性天敌的生长发育^[44-46],甚至在促进其性成熟、延长寿命、提高生殖力及寄主植物的适合度等方面起到重要的作用^[47-49]。而且,蚜虫及植物分泌的蜜露中同样含有捕食性天敌所需的糖类、必需氨基酸及矿物质^[50-51],也可以为捕食性天敌提供相应的营养成分^[52-54]。6 月上旬 3 种豆科杂草均进入花期,其上的花粉和花蜜是否也能够成为多异瓢虫的替代食物资源,以及 3 种豆科杂草上棉黑蚜分泌的蜜露对多异瓢虫生长发育和繁殖能力的影响均有待进一步研究。

植物挥发物在捕食性瓢虫定位猎物所在寄主植物的过程中起着特别重要的作用^[55-58]。因此,我们猜测植物挥发物在多异瓢虫对 3 种豆科杂草的趋向选择行为中同样具有重要的作用。为了验证这一猜想,我们通过 Y 形嗅觉仪测试发现多异瓢虫雌雄成虫对 3 种豆科杂草不同处理间的趋向选择行为反应

相似,均为:棉黑蚜为害植株>棉黑蚜>健康植株>空白(图 2)。这与多异瓢虫对棉蚜 *Aphis gossypii* 为害的黄瓜 *Cucumis sativus* 植株^[59]以及异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 对蚜虫为害的多种作物^[37]的行为反应结果均类似。因此,我们可以在后续的研究中继续探究棉黑蚜为害豆科杂草释放挥发性物质的种类和功能,了解多异瓢虫趋向选择行为利用的化学信息线索,同时进一步通过挥发物合理配比,研发多异瓢虫引诱剂,调控作物系统中天敌的发生时间及种群数量,为有效利用多异瓢虫进行蚜虫绿色防控奠定理论基础和提供技术支持。

综上所述,新疆棉区田埂 3 种豆科杂草上的棉黑蚜对多异瓢虫早春种群具有重要的保育作用,棉黑蚜取食为害后的 3 种豆科植物挥发物可能在多异瓢虫成虫对其趋向选择过程中发挥关键作用。本研究为利用非作物生境保育多异瓢虫及促进其生物控害作用奠定重要的理论基础。

参考文献

- [1] 买买提·莫明,艾先涛,艾海提·阿木提,等. 对我国棉花主要产区产业兴旺的思考[J]. 棉花科学, 2022, 44(3): 3-8.
- [2] 宋乐. “一带一路”背景下中国与中亚五国棉花贸易的潜力分析[J]. 现代商业, 2022(15): 41-45.
- [3] 国家统计局关于 2021 年棉花产量的公告[N]. 中国信息报, 2021-12-15(001).
- [4] 吴孔明,郭予元. 我国 20 世纪棉花害虫研究的主要成就及展望[J]. 昆虫知识, 2000(1): 45-49.
- [5] 潘洪生,姜玉英,王佩玲,等. 新疆棉花害虫发生演替与综合防治研究进展[J]. 植物保护, 2018, 44(5): 42-50.
- [6] BAHAWAL S, GHULAM M, HAMAMS M, et al. Population dynamics of aphids and its predators along with its management [J/OL]. Journal of King Saud University-Science, 2022, 34(5): 102024. DOI: 10.1016/j.jksus.2022.102024.
- [7] ZAYAME V P, JORGE A M R, VALDIER A Y, et al. Ability of *Aphis gossypii* and *Myzus persicae* to transmit cucumber mosaic virus in single and mixed infection with two potyviruses to zucchini squash [J]. Summa Phytopathologica, 2008, 34(2): 183-185.
- [8] REINBOLD C. Posterior midgut and hindgut are both sites of acquisition of cucurbit aphid-borne yellows virus in *Myzus persicae* and *Aphis gossypii* [J]. Journal of General Virology, 2003, 84(12): 3473-3484.
- [9] SHAUNAK K K, PITRE H N. Comparative transmission of maize dwarf mosaic virus by *Aphis fabae*, *Aphis gossypii*, and *Schizaphis graminum* [J]. Plant Disease Reporter, 1973, 57

- (6): 533–536.
- [10] NAWAZ A, RAZZAQ F, RAZZAQ A, et al. Compatibility and synergistic interactions of fungi, *Metarhizium anisopliae*, and insecticide combinations against the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) [J/OL]. Scientific Reports, 2022, 12 (1): 4843. DOI: 10.1038/s41598-022-08841-6.
 - [11] LIU Jinping, WANG Chen, DESNEUX N, et al. Impact of temperature on survival rate, fecundity, and feeding behavior of two aphids, *Aphis gossypii* and *Acyrtosiphon gossypii*, when reared on cotton [J/OL]. Insects, 2021, 12(6): 565. DOI: 10.3390/insects12060565.
 - [12] PATIMA W, JIANG Yuntao, MA Deying. Effects of exposure to imidacloprid direct and poisoned cotton aphids *Aphis gossypii* on ladybird *Hippodamia variegata* feeding behavior [J]. Journal of Pesticide Science, 2020, 45(1): 24–28.
 - [13] PEREIRA O, BARBOSA R D, FERREIRA L D, et al. Biological aspects and feeding behavior of cotton aphid in watermelon cultivars submitted to silicon application [J]. Arquivos do Instituto Biológico, 2020, 87: 1–6.
 - [14] 张文庆, 古德祥, 张古忍. 论短期农作物生境中节肢动物群落的重建 I. 群落重建的概念及特性[J]. 生态学报, 2000(6): 1107–1112.
 - [15] 张文庆, 古德祥, 张古忍. 论短期农作物生境中节肢动物群落的重建 II. 群落重建的分析和调控[J]. 生态学报, 2001(6): 1020–1024.
 - [16] 史磊, 任莉, 宁跃翠, 等. 棉田棉铃虫自然种群变化动态及对天敌的观察研究[J]. 现代农业科技, 2020(17): 88–89.
 - [17] 潘洪生, 李号宾, 丁瑞丰, 等. 多异瓢虫对棉黑蚜的捕食能力[J]. 中国生物防治学报, 2020, 36(4): 628–631.
 - [18] 姜岩, 修春丽, 王冬梅, 等. 多异瓢虫生物生态学特性及保育利用研究进展[J]. 中国生物防治学报, 2022, 38(1): 50–62.
 - [19] 阿尔孜姑丽·肉孜, 丁新华, 吐尔逊·阿合买提, 等. 新疆农田系统瓢虫资源调查与多样性研究[J]. 环境昆虫学报, 2021, 43(2): 292–304.
 - [20] 戈峰, 欧阳芳, 赵紫华. 基于服务功能的昆虫生态调控理论[J]. 应用昆虫学报, 2014, 51(3): 597–605.
 - [21] LIU Bing, YANG Long, ZENG Yingda, et al. Secondary crops and non-crop habitats within landscapes enhance the abundance and diversity of generalist predators [J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2018, 258: 30–39.
 - [22] AHMADOU S, VALÉRIE S, IBRAHIMA T, et al. Non-crop habitats concurrently drive crop colonization by the millet head miner and regulation by natural enemies [J]. Basic and Applied Ecology, 2022, 64: 45–56.
 - [23] 赵紫华, 王颖, 贺达汉, 等. 麦蚜和寄生蜂对农业景观格局的响应及其关键景观因子分析[J]. 生态学报, 2012, 32(2): 472–482.
 - [24] 俞晓平, 胡萃, HEONG K L. 非作物生境对农业害虫及其天敌的影响[J]. 中国生物防治, 1996(3): 37–40.
 - [25] 张强, 李红, 赵冰梅, 等. 新疆兵团机采棉田杂草种类及群落结构调查[J]. 杂草学报, 2021, 39(1): 13–16.
 - [26] 郝彦俊, 李广阔, 王剑, 等. 新疆棉田杂草调查[J]. 植物保护, 2003, 29(4): 42–44.
 - [27] PAN Hongsheng, LU Yanhui, XIU Chunli, et al. Volatile fragrances associated with flowers mediate host plant alternation of a polyphagous mirid bug [J/OL]. Scientific Reports, 2015, 5: 14805. DOI: 10.1038/srep14805.
 - [28] 赵雪晴, 马永翠, 尹艳琼, 等. 滇东北菜区小菜蛾种群发生特征及其关键影响因子[J]. 应用昆虫学报, 2019, 56(6): 1353–1359.
 - [29] FRANCIS F, ALHMEDI A, HAUBRUGE E, et al. Quantitative food webs of herbivore and related beneficial community in non-crop and crop habitats [J]. Biological Control, 2011, 58(2): 103–112.
 - [30] YANG Long, XU Lei, LIU Bing, et al. Non-crop habitats promote the abundance of predatory ladybeetles in maize fields in the agricultural landscape of northern China [J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2019, 277: 44–52.
 - [31] 刘勇, 郭光喜, 陈巨莲, 等. 瓢虫和草蛉对小麦挥发物组分的行为及电生理反应[J]. 昆虫学报, 2005, 48(2): 161–165.
 - [32] 杨新根, 谢映平, 薛皎亮, 等. 柿树被日本龟蜡蚧危害后挥发物的变化及其对红点唇瓢虫的引诱作用[J]. 应用与环境生物学报, 2006(2): 215–219.
 - [33] WU Xiuhua, ZHOU Xiaorong, PANG Baoping. Influence of five host plants of *Aphis gossypii* Glover on some population parameters of *Hippodamia variegata* (Goeze) [J]. Journal of Pest Science, 2010, 83(2): 77–83.
 - [34] ABDOSSAMAD Z, JABRAEIL R, HOOSHANG R D, et al. Tritrophic interactions of cucumber cultivar, *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae), and its predator *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. Journal of Economic Entomology, 2019, 112(4): 1774–1779.
 - [35] 田耀加, 梁广文, 曾玲, 等. 不同后作生境对玉米地天敌的冬季保育作用[J]. 生态学报, 2012, 32(19): 6187–6194.
 - [36] 张伟. 蚜虫危害植物中异色瓢虫偏好挥发物的鉴定及其嗅觉相关基因的挖掘[D]. 扬州: 扬州大学, 2018.
 - [37] XIU Chunli, ZHANG Wei, XU Bin, et al. Volatiles from aphid-infested plants attract adults of the multicolored Asian lady beetle *Harmonia axyridis* [J]. Biological Control, 2019, 129: 1–11.
 - [38] 宝敖敦, 李雅丽, 李雪霜, 等. 乌拉尔甘草悬浮细胞中木质素合成基因 F5H 与 HCT 的鉴定及表达分析[J/OL]. 分子植物育种, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220729.1449.016.htm>.
 - [39] 高文礼, 陈晓楠, 伊力努尔·艾力, 等. 不同水分处理下双接种 AMF 和根瘤菌对疏叶骆驼刺生长及氮素转移的影响[J]. 生态学报, 2022(16): 1–12.

- [40] 苏丹丹, 刘玉萍, 张雨, 等. 苦豆子实时荧光定量 PCR 内参基因筛选与验证[J]. 植物生理学报, 2022, 58(7): 1295–1306.
- [41] 贝盏临, 张欣. 牧草苦豆子花期植株挥发性物质分析[J]. 饲料研究, 2019, 42(9): 104–107.
- [42] 顾淑琴, 王进明. 靖远县野生甘草资源调查及人工抚育研究综述[J]. 中国水土保持, 2020(6): 41–44.
- [43] 黄彩变, 曾凡江, 张波. 不同水氮条件下骆驼刺幼苗生长及氮效率变化特征[J]. 生态学报, 2021, 41(9): 3612–3624.
- [44] CHOATE B A, LUNDGREN J G. Why eat extrafloral nectar? Understanding food selection by *Coleomegilla maculata* (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. BioControl, 2013, 58(3): 359–367.
- [45] RAMSDEN M W, MENÉNDEZ R, LEATHER S R, et al. Optimizing field margins for biocontrol services: the relative role of aphid abundance, annual floral resources, and overwinter habitat in enhancing aphid natural enemies [J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2015, 199: 94–104.
- [46] 顾辉杰. 取食棉花花粉和花蜜对异色瓢虫、多异瓢虫种群适合度的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2020.
- [47] 王建红, 仇兰芬, 车少臣, 等. 蜜粉源植物对天敌昆虫的作用及其在生物防治中的应用[J]. 应用昆虫学报, 2015, 52(2): 289–299.
- [48] MATHEWS C R, BROWN M W, WÄCKERS F L. Comparison of peach cultivars for provision of extrafloral nectar resources to *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. Environmental Entomology, 2016, 45(3): 649–657.
- [49] 徐彬, 修春丽, 张伟, 等. 龙爪槐花对异色瓢虫成虫寿命的影响[J]. 中国生物防治学报, 2017, 33(4): 442–445.
- [50] LEE J C, HEIMPEL G E, LEIBEE G L. Comparing floral nectar and aphid honeydew diets on the longevity and nutrient levels of a parasitoid wasp [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2010, 111(3): 189–199.
- [51] PASCAL D L, RAKI A, SABRINE A, et al. Aphid honeydew: an arrestant and a contact kairomone for *Episyrphus balteatus* (Diptera: Syrphidae) larvae and adults [J]. European Journal of Entomology, 2014, 111(2): 237–242.
- [52] 刘勇, 陈巨莲, 王洪刚. 几种天敌对麦蚜蜜露的行为反应[J]. 应用与环境生物学报, 2003(2): 171–174.
- [53] IDE T, SUZUKI N, KAYAYAMA N. The use of honeydew in foraging for aphids by larvae of the ladybird beetle, *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. Ecological Entomology, 2010, 32(5): 455–460.
- [54] PASCAL D L, AHMED S, STÉPHANIE H, et al. Microorganisms from aphid honeydew attract and enhance the efficacy of natural enemies [J/OL]. Nature Communications, 2011, 2: 348. DOI: 10.1038/ncomms1347.
- [55] DICKE M, BALDWIN I. The evolutionary context for herbivore-induced plant volatiles: beyond the ‘cry for help’ [J]. Trends in Plant Science, 2010, 15(3): 167–175.
- [56] RANNA H S B, LEANDRO S S, ANTÔNIO E G S, et al. Indirect plant defenses: volatile organic compounds and extrafloral nectar [J]. Arthropod-Plant Interactions, 2021, 15(4): 467–489.
- [57] HU Lingfei, ZHANG Kaidi, WU Zhenwei, et al. Plant volatiles as regulators of plant defense and herbivore immunity: molecular mechanisms and unanswered questions [J]. Current Opinion in Insect Science, 2021, 44: 82–88.
- [58] INDRAKANT K S, ARCHANA S. Plant-pest interactions: from molecular mechanisms to chemical ecology [M]. Berlin: Springer Nature, 2021.
- [59] 李艳艳, 周晓榕, 庞保平, 等. 多异瓢虫对瓜蚜为害后植物挥发物的行为反应及挥发物成分分析[J]. 昆虫学报, 2013, 56(2): 153–160.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 192 页)

- [10] 张树珍. 棉田杂草的发生与防治措施[J]. 现代农业科技, 2017(7): 136–139.
- [11] 王荣龙, 刘定忠, 陶碧庆, 等. 赣北棉区棉田杂草调查初报[J]. 江西棉花, 2000, 22(1): 23–25.
- [12] 房锋, 李美, 高兴祥, 等. 山东棉田杂草组成及其群落特征[J]. 山东农业科学, 2017, 49(2): 120–126.
- [13] 朱玉永, 赵冰梅, 王林. 新疆棉田杂草发生与防除现状及对策[J]. 中国棉花, 2021, 48(2): 1–7.
- [14] CHI H, LIU H. Two new methods for study of insect population ecology [J]. Academia Sinica, 1985, 24(2): 225–240.
- [15] 张帅, 崔金杰, 吕丽敏, 等. 棉花 3 种抗逆相关基因对苗蚜为害的应答反应[J]. 棉花学报, 2012, 24(3): 215–221.
- [16] LI Zhaoqun, ZHANG Shuai, LUO Junyu, et al. Ecological adaptation analysis of the cotton aphid (*Aphis gossypii*) in different phenotypes by transcriptome comparison [J/OL]. PLoS ONE, 2013, 8(12): e83180. DOI: 10.1371/journal.pone.0083180.
- [17] 李昌学. 棉蚜越冬寄主初步观察[J]. 昆虫知识, 1958(4): 182–183.
- [18] 刘炳文. 关于夏至草与夏枯草[J]. 植物保护, 1981(4): 17.
- [19] 朱弘复, 张广学. 棉蚜寄主植物接种试验简报[J]. 昆虫知识, 1958(5): 202–204.
- [20] 景玉玺. 取食龙葵对棉蚜生长发育及体内共生菌的影响[D]. 郑州: 郑州大学, 2021.
- [21] 郑彩玲, 刘向东, 翟保平. 棉花型和黄瓜型棉蚜(*Aphis gossypii* Glover)的寄主适应性及转移通道[J]. 生态学报, 2007(5): 1879–1886.

(责任编辑: 杨明丽)