

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2024.04.008

黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫对玉米蚜的捕食作用

陈梅兰¹, 韦琪琳², 莫丹妮¹, 潘珍美¹,
黄周锐¹, 杨慧辉¹, 宋书巧¹

1. 南宁师范大学 环境与生命科学学院, 南宁 530100;

2. 南宁师范大学 地理科学与规划学院, 南宁 530100

摘要: 为了明确黄斑盘瓢虫(*Lemnia saucia*)和六斑月瓢虫(*Cheilomenes sexmaculata*)对玉米蚜(*Rhopalosiphum maidis*)的捕食作用和控害潜力,在室内条件下分别评估黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫成虫对玉米蚜成虫的捕食功能反应、寻找效应、种内干扰和自身密度干扰效应。结果表明,黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫成虫对玉米蚜成虫的捕食功能反应符合 Holling II 型,日最大捕食量分别达到 256.4 头和 277.8 头。黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫对玉米蚜的寻找效应与猎物密度呈负相关。捕食者在限定的空间内存在干扰作用,当瓢蚜比不变时,随着瓢虫密度的增加,瓢虫平均捕食率下降,分摊竞争强度增大。此外,瓢虫的捕食作用受到自身密度的影响,黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫捕食玉米蚜的竞争参数分别为 0.814 5 和 0.831 9。黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫成虫对玉米蚜成虫具有较强的控害潜力,研究结果为玉米蚜的可持续治理提供了理论参考。

关键词: 黄斑盘瓢虫; 六斑月瓢虫; 玉米蚜;

捕食作用; 生物防治

中图分类号: S433

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 2097-1354(2024)04-0058-09

Predation of *Lemnia saucia* and *Cheilomenes sexmaculata* to *Rhopalosiphum maidis*CHEN Meilan¹, WEI Qilin², MO Danni¹, PAN Zhenmei¹,
HUANG Zhouhui¹, YANG Huihui¹, SONG Shuqiao¹

1. School of Environmental and Life Sciences, Nanning Normal University, Nanning 530100, China;

2. School of Geography and Planning, Nanning Normal University, Nanning 530100, China

收稿日期: 2024-04-26

基金项目: 广西科技基地和人才专项(桂科 AD21220140)。

作者简介: 陈梅兰, 博士, 讲师, 主要从事害虫生物防治。E-mail: chenmlan@nnnu.edu.cn

Abstract: In order to clarify the predation and biological control potential of *Lemnia saucia* and *Cheilomenes sexmaculata* against *Rhopalosiphum maidis*. The predation functional response, searching efficiency, intraspecific interference and self-density interference of adult ladybirds *L. saucia* and *C. sexmaculata* to adult *R. maidis* were assessed separately under indoor conditions. The predatory functional response of *L. saucia* and *C. sexmaculata* adults to *R. maidis* adults fitted with Holling II model, with daily maximum predation numbers reaching 256.4 and 277.8, respectively. The searching efficiency of *L. saucia* and *C. sexmaculata* to *R. maidis* showed a negative relationship to the prey density. With the increase of predator density interference under a constant ladybird-to-aphid ratio, average predation rates decreased, while sharing competition intensities increased. In addition, the predation of ladybird was influenced by their self-density, the competitive parameters of *L. saucia* and *C. sexmaculata* were 0.814 5 and 0.831 9, respectively. *L. saucia* and *C. sexmaculata* have strong biological control potential against *R. maidis*, providing a theoretical basis for the sustainable management of *R. maidis*.

Key words: *Lemnia saucia*; *Cheilomenes sexmaculata*; *Rhopalosiphum maidis*; predation; biological control

玉米蚜(*Rhopalosiphum maidis*)属半翅目(Hemiptera)、蚜科(Aphididae)、缢管蚜属(*Rhopalosiphum*)昆虫,是禾谷类作物的重要害虫,主要危害玉米、高粱、谷子和小麦等,寄主超过了182种^[1-3].玉米蚜具有繁殖能力强、世代周期短以及能够快速适应环境等特点,很容易大面积暴发^[4].此外,玉米蚜在为害过程中由于分泌蜜露会导致煤污病的产生,同时还可能传播病毒病,不利于作物的生长发育,从而造成巨大的损失^[5-6].防治玉米蚜的传统方法是化学防治,但玉米蚜作为典型的刺吸式口器吸食植物汁液的害虫,喜藏匿于叶片背面,一般药剂难以渗透进去.其次,长期喷洒农药使蚜虫产生了极高的抗药性,同时容易对捕食性天敌造成危害,引发人畜中毒等问题,影响农业的可持续发展.研究玉米蚜的绿色防治方法有利于助推农业高质量发展,因此,通过生物防治手段控制玉米蚜迫在眉睫.

玉米蚜常见的捕食性昆虫有食蚜蝇、寄生蜂、草蛉和瓢虫等^[7],其中捕食性瓢虫是重要的天敌昆虫,在我国分布广泛^[8].其中,黄斑盘瓢虫(*Lemnia saucia*)和六斑月瓢虫(*Cheilomenes sexmaculata*)在华南地区分布普遍,是常见的优势天敌瓢虫.黄斑盘瓢虫的消长情况基本同多种蚜虫的为害高峰期相吻合^[9],但近年来关于该瓢虫的研究主要是关注生活史特征、交配行为和繁殖特性等方面^[10-14],对于该瓢虫对害虫的捕食潜力研究尚未见报道,一定程度上限制了黄斑盘瓢虫在生物防治中的应用.六斑月瓢虫是广食性的昆虫^[15],对于烟粉虱、蚜虫、粉蚧等害虫具有较强的防控潜力^[16-17],目前已知捕食对象多达17种,包括10种蚜虫、2种粉虱、2种蓟马、2种木虱和1种夜蛾^[17-18].因此,开展黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫对玉米蚜的捕食作用研究,对玉米蚜的科学防治具有重要意义.

黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫在农田中常常混合发生并控制害虫,但关于2种瓢虫对于玉米蚜的控害研究较少,尤其是黄斑盘瓢虫对玉米蚜的捕食作用还未见报道.因此,本研究拟探讨黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫捕食玉米蚜的功能反应、寻找效应、种内干扰效应和自身密度干扰效应,进而明确黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫对玉米蚜虫的生物防治潜力,从而科学利用天敌昆虫防治玉米蚜虫.

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试虫源

黄斑盘瓢虫、六斑月瓢虫和玉米蚜均采自南宁师范大学武鸣校区校外的玉米田(108°17'E, 23°10'N), 瓢虫种群采集数量大于100头, 在实验室条件下以玉米蚜饲养稳定种群, 玉米蚜则长期使用玉米苗进行饲养. 选择羽化后10 d左右的黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫雌成虫, 对生长情况较为一致的玉米蚜无翅成虫进行室内捕食作用试验, 试验条件为温度(25±1)℃, 湿度(70±5)%, 光周期为14L:10D.

1.1.2 主要设备和耗材

LRH-800C-GSIE 智能人工气候箱(广东泰宏君科学仪器股份有限公司), 直径为3.5 cm和9 cm的塑料培养皿, 规格为25 cm×25 cm×25 cm、40 cm×40 cm×54 cm的养虫笼, 马克笔和扫虫笔等工具.

1.2 试验方法

1.2.1 黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫对玉米蚜的捕食功能反应和寻找效应

黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫雌成虫饥饿处理24 h后进行试验. 在直径为9 cm的培养皿中放入一片新鲜的玉米叶片, 挑选生长情况基本一致的玉米蚜成虫. 设置30、60、90、120、150头/皿5个玉米蚜密度梯度, 每个密度下接入瓢虫雌成虫1头, 24 h后观察并记录培养皿内剩余的玉米蚜数量. 每处理重复7次.

1.2.2 种内干扰对黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫捕食率的影响

在直径为9 cm的培养皿中放入一片新鲜的玉米叶片, 按照瓢虫雌成虫:玉米蚜成虫=1:30的比例, 即将黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫雌成虫的密度设置为1、2、3、4、5头/皿, 分别与30、60、90、120、150头/皿的玉米蚜成虫组合, 24 h后统计瓢虫的取食量, 每个处理重复7次.

1.2.3 黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫自身密度对捕食玉米蚜的干扰反应

在9 cm的培养皿中放入一片新鲜的玉米叶片, 设置玉米蚜成虫数量为150头, 分别测定瓢虫数为1、2、3、4、5头/皿时的捕食量, 24 h后统计玉米蚜的存活数量. 每个处理设置7个重复.

1.3 数据统计分析

采用逻辑回归分析玉米蚜被捕食量和起始量之间的关系, 从而确定黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫成虫的功能反应类型. 将符合Holling II型的数据利用圆盘方程 $N_a = aTN / (1 + aT_h N)$ 进行拟合, 式中 N_a 为玉米蚜被捕食量, N 表示玉米蚜密度, a 为捕食者对玉米蚜的瞬时攻击率, T 表示玉米蚜暴露给捕食者的时间, 本试验中 T 为1 d, T_h 为捕食者处理1头蚜虫所耗时间^[19].

利用公式 $S = a / (1 + aT_h N)$ 来计算寻找效应. 公式中, S 为寻找效应, a 为瞬时攻击率, T_h 为取食时间, N 表示猎物数量^[20].

采用Hassell模型公式评估种内干扰系数, 其公式为: $E = QP^{-m}$, 其中, E 表示模拟中的平均捕食率, Q 为搜索常数, P 表示天敌密度, m 表示种内干扰系数^[21].

根据公式 $I = (E_1 - E_p) / E_1$ 计算分摊竞争强度 I , 式中 E_1 为1头捕食者的捕食率; E_p 为

捕食者密度为 P 头时的捕食率^[22].

采用 Watt 模型方程进行拟合计算得出自身密度干扰效应结果,其方程为: $A=aP^{-b}$, 其中, A 表示竞争条件下的平均捕食量, a 表示常数(即无竞争条件下每头瓢虫的捕食量估计), P 表示瓢虫密度, b 表示竞争参数^[23].

本试验数据采用 Excel 2016 和 SPSS 20.0 进行记录和统计分析,所有参数均采用最小二乘法进行计算.

2 结果与分析

2.1 黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫对玉米蚜的捕食功能反应

黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫雌成虫对玉米蚜成虫的捕食量和捕食率见图 1. 2 种瓢虫对玉米蚜的捕食量随着玉米蚜密度的增大而逐渐增大,当蚜虫数量增加到一定程度时,捕食量的增加速度变缓慢,捕食率下降. 经卡方检验,卡方值均大于 0.05(表 1),意味着瓢虫对蚜虫的实际捕食量和理论捕食量间无显著差异,说明 2 种瓢虫对玉米蚜的捕食功能反应符合 Holling II 型. 2 种瓢虫在玉米蚜相同的密度梯度下取食量对比无显著差异. 在猎物密度为 30 头/皿时,黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫对玉米蚜的捕食率最大,分别为 89.0%和 98.1%;其次为 85.0%和85.6%,即黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫分别在猎物密度为 60 头/皿和 90 头/皿时的捕食率(图 1).

由表 1 可知,黄斑盘瓢虫的瞬时攻击率(a)比六斑月瓢虫的低,二者分别为 1.003 6 和 1.084 8;同时黄斑盘瓢虫对玉米蚜的处理时间(T_h)也较长,为 0.003 9 d,六斑月瓢虫的处理时间则为 0.003 6 d;黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫对玉米蚜捕食作用的 a/T_h 值分别为 257.3 和 301.3,日最大捕食量分别为 256.4 头和 277.8 头.

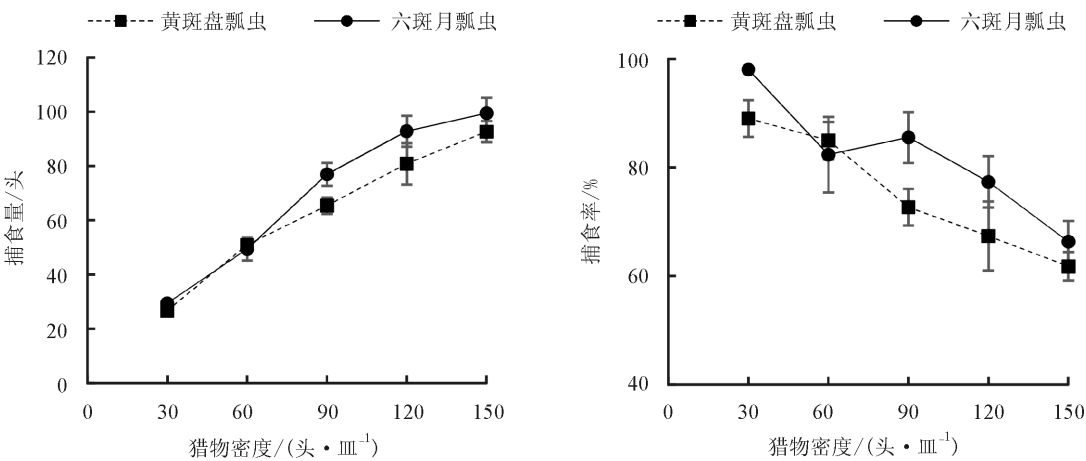


图 1 黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫对玉米蚜的日捕食量和捕食率

表 1 黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫成虫对玉米蚜的捕食功能反应

瓢虫	圆盘方程	相关系数 (R^2)	瞬时攻击率 (a)	处置时间/ ($T_h \cdot d^{-1}$)	a/T_h	日最大捕食量	卡方值
黄斑盘瓢虫	$N_a=1.003\ 6N/(1+0.003\ 9N)$	0.997\ 7	1.003\ 6	0.003\ 9	257.3	256.4	0.996\ 7
六斑月瓢虫	$N_a=1.084\ 8N/(1+0.003\ 9N)$	0.993\ 0	1.084\ 8	0.003\ 6	301.3	277.8	0.936\ 3

2.2 黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫对玉米蚜的寻找效应

黄斑盘瓢虫成虫和六斑月瓢虫成虫对玉米蚜的寻找效应均随着玉米蚜密度的增加而逐渐下降,寻找效应方程分别为 $S=1.003\ 6/(1+0.003\ 9N)$ 和 $S=1.084\ 8/(1+0.003\ 9N)$. 当猎物密度相同时,六斑月瓢虫对玉米蚜的寻找效应大于黄斑盘瓢虫的寻找效应(图 2).

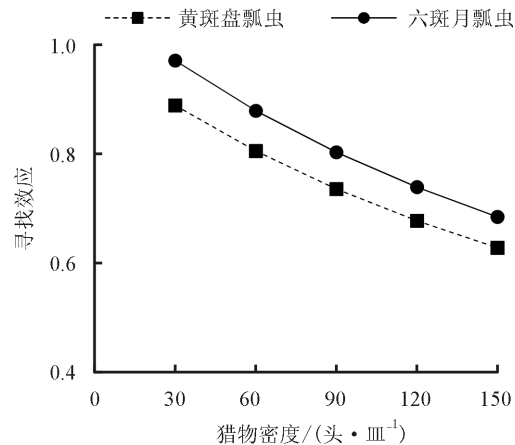


图 2 黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫对玉米蚜的寻找效应

2.3 黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫的种内干扰效应

黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫捕食玉米蚜的干扰系数(m)分别为 0.963 9 和 0.999 9. 伴随着 2 种瓢虫密度的增加,一定空间内平均每头瓢虫的捕食量无显著性差异(黄斑盘瓢虫 $F=2.421$, $p=0.071$; 六斑月瓢虫 $F=0.856$, $p=0.502$),但平均捕食率下降. 2 种瓢虫的分摊竞争强度伴随着瓢虫密度的增加而增加,当瓢虫密度为 5 头/皿时,分摊竞争强度最大,表明在该密度条件下 2 种瓢虫的种内干扰作用最大(表 2).

表 2 黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫捕食玉米蚜的种内干扰效应

瓢虫	捕食者密度/ (头·皿 ⁻¹)	猎物密度/ (头·皿 ⁻¹)	平均捕食率/ %	分摊竞争 强度	Hassell 模型方程	搜索 常数	干扰 系数	相关 系数
黄斑盘瓢虫	1	30	93.9±2.6	0	$E=0.943\ 0P^{-0.963\ 9}$	0.943 0	0.963 9	0.999 9
	2	60	48.6±0.7	0.482 7				
	3	90	32.9±0.2	0.649 5				
	4	120	24.8±0.1	0.736 3				
	5	150	19.9±0.1	0.788 2				
六斑月瓢虫	1	30	98.1±0.7	0	$E=0.978\ 4P^{-0.999\ 9}$	0.978 4	0.999 9	0.999 6
	2	60	49.3±0.5	0.497 6				
	3	90	31.9±0.8	0.674 8				
	4	120	24.5±0.3	0.750 1				
	5	150	19.8±0.1	0.798 4				

注:表中数据为平均值±标准误. 表 3 同.

2.4 黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫自身密度对捕食量的干扰反应

2 种瓢虫在一定空间和猎物密度不变的情况下,平均捕食量随自身密度的增加而下降(表

3), 表明 2 种瓢虫捕食时存在种内干扰作用. 用 Watt 模型进行拟合, 拟合方程、常数和相关系数等如表 3 所示. 结果显示, 黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫捕食玉米蚜的竞争参数分别为 0.814 5 和 0.831 9. 根据 Watt 模型可知, 随着 2 种瓢虫密度的增加, 干扰作用增大. 将理论值和实际值经卡方检验, 卡方值分别为 0.912 3 和 0.979 8, 均大于 0.05, 差异不显著, 说明该模型能较好地反映黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫自身密度对捕食玉米蚜的影响情况.

表 3 黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫自身密度对捕食量的干扰作用

瓢虫	捕食者密度/ (头·皿 ⁻¹)	猎物密度/ (头·皿 ⁻¹)	平均捕食 量/头	Watt 模型方程	常数	竞争参数	相关系数	卡方值
黄斑盘瓢虫	1	150	109.0±9.7	$A=115.0P^{-0.814\ 5}$	115.0	0.814 5	0.988 0	0.912 3
	2	150	71.8±1.2					
	3	150	47.2±1.4					
	4	150	36.9±0.4					
	5	150	29.9±0.1					
六斑月瓢虫	1	150	114.4±7.0	$A=118.8P^{-0.831\ 9}$	118.8	0.831 9	0.994 2	0.979 8
	2	150	70.1±1.4					
	3	150	49.2±0.6					
	4	150	37.4±0.7					
	5	150	29.9±0.1					

3 结论与讨论

生物防治是实施绿色防控的有效途径, 而利用天敌昆虫是生物防治的核心手段^[24]. 在天敌昆虫中, 捕食性瓢虫被认为是农业生态系统中最有前景的生物防治贡献者^[25]. 黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫是我国华南地区常见的捕食性天敌, 主要以蚜虫为食, 在害虫生物防治的应用中具有巨大的开发潜能^[26-29]. 本研究通过测定黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫对玉米蚜的捕食作用, 评价了 2 种瓢虫的防治潜力. 研究结果表明黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫雌成虫对玉米蚜成虫的捕食量符合 Holling II 圆盘方程, 日最大捕食量超过 250 头, 表现出较强的捕食能力. 本研究结果可为田间玉米蚜的绿色防治提供理论参考.

研究发现七星瓢虫(*Coccinella septempunctata*)取食豌豆修尾蚜(*Megoura crassicauda*)、草地贪夜蛾(*Spodoptera frugiperda*)^[24, 30], 异色瓢虫(*Harmonia axyridis*)捕食豌豆蚜(*Acyrtosiphon pisum*)、牛角花齿蓟马(*Odontothrips loti*)、柴胡明蚜(*Hyadaphis bupleuri*)^[31-32]、六斑月瓢虫取食茶蚜(*Toxoptera aurantii*)、豆蚜(*Aphis craccivora*)、黄胸蓟马(*Thrips hawaiiensis*)、柑橘木虱(*Diaphorina citri*)和草地贪夜蛾(*Spodoptera frugiperda*)等害虫^[17, 33-36]的捕食量可用 Holling II 圆盘方程进行拟合, 与本研究的功能反应模型一致. 模型中的 a/T_h 值是衡量天敌捕食能力的重要参数之一, a/T_h 值越大, 表明天敌控制能力越强^[37]. 本研究结果中黄斑盘瓢虫对玉米蚜捕食作用的 a/T_h 值小于六斑月瓢虫的值, 表明六斑月瓢虫对玉米蚜的捕食能力要强于黄斑盘瓢虫. 唐良德等^[37]的研究发现六斑月瓢虫雌成虫对玉米蚜成虫的最大捕食量为 217.39 头, 本研究结果显示最大捕食量为 277.8 头, 高于他们的结果, 究其

原因可能与试验的光照时间不同有关. 寻找效应是指天敌对害虫攻击的一种行为效应, 天敌捕食作用的大小与其本身的寻找力度有关^[30], 黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫对猎物的寻找效应呈负相关, 这与李秋荣等^[38]、李盼等^[39]和于静亚等^[40]研究瓢虫捕食其他农林害虫的结果相似. 天敌在捕食时往往存在干扰效应, 该效应大大地影响了天敌的捕食效率^[41]. 本研究发现当天敌和猎物比例不变的条件下, 黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫的捕食量随着猎物密度的增加而增大, 但平均捕食率下降, 分摊竞争强度增大, 说明黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫的种内干扰作用明显. 除此之外, 在玉米蚜密度保持不变的情况下, 2种瓢虫的平均捕食量均随着自身密度的增加而下降, 说明这2种瓢虫自身密度同样会对捕食产生影响.

在本研究的功能反应模型中, 当猎物密度为30头时, 瓢虫捕食率最高, 但害虫密度太低, 会失去吸引天敌的条件^[40]. 当猎物密度为150头时, 捕食量最大, 寻找猎物所需时间最少, 但捕食率最低, 控害效果欠佳. 因此对于黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫分别推荐1:60和1:90的益害比进行释放, 在此比例下2种瓢虫的捕食率较高, 寻找猎物所需时间也较短. 但由于瓢虫种内干扰作用明显, 因此在田间实际的生物防治应用中, 应避免扎堆释放, 分散多次释放以减少种内干扰和自身密度的影响, 充分发挥天敌瓢虫的控害效果. 由于本研究是在室内的人工气候箱中进行的, 而在自然条件下, 田间的生态环境更为复杂, 天敌的捕食能力不仅受到猎物密度、自身密度以及种内干扰的影响, 同时还可能受到天气条件、猎物种类、天敌种间竞争等因素的影响^[38, 41]. 因此, 多环境因素对黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫捕食能力的影响需进一步探讨. 同时, 应尽可能地创造类似于自然环境的试验条件, 以实现更准确、更客观以及更合理地来评价天敌对害虫的实际控制作用. 本文探讨了黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫成虫对玉米蚜的捕食作用, 但2种瓢虫共同存在时对玉米蚜的捕食作用以及它们幼虫对玉米蚜的控制能力还需进行深入研究.

参考文献:

- [1] 赵曼, 郭线茹, 李为争, 等. 不同玉米品种(系)对玉米蚜生长发育和种群增长的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(15): 4707-4714.
- [2] AlamMJ, Ahmed K S, Mollah, M R A. Survey of insect pests of maize crop and their identification in Shibganj upazilla under Bogra district. Bangladesh Journal of Seed Science and Technology. 2014, 18(1&2): 73-77.
- [3] Alam M J, Mukta L N, Nahar N, et al. Management practices of aphid (*Rhopalosiphum maidis*) in infested maize field[J]. Bangladesh Journal of environmental science, 2020, 38: 23-28.
- [4] 杨春月, 胡杰, 许瀛月, 等. 水杨酸甲酯对玉米蚜驱避作用研究[J/OL]. 吉林农业大学学报, (2023-03-21) [2024-04-13]. <https://doi.org/10.13327/j.jjlau.2023.0055>.
- [5] Chen Y, Martin C, Fingu Mabola J C, et al. Effects of host plants reared under elevated CO₂ concentrations on the foraging behavior of different stages of corn leaf aphids *Rhopalosiphum maidis*[J]. Insects, 2019, 10: 182.
- [6] 林兴雨, 任凯杰, 宋凡, 等. 玉米蚜线粒体基因组测序及蚜族系统发育分析[J]. 基因组学与应用生物学, 2024, 43(4): 675-684.
- [7] 林小璐. 玉米蚜虫及天敌种群动态与群落特征和不同玉米品种抗蚜性研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2022.
- [8] 王兴民, 陈晓胜, 邱宝利, 等. 捕食性瓢虫采集与调查取样技术[J]. 应用昆虫学报, 2014, 51(5): 1362-1366.
- [9] 顾洪根. 菊小长管蚜的天敌-黄斑盘瓢虫[J]. 中国园林, 1989(4): 32-33.
- [10] OMKAR, PATHAK S. Effects of Different Photoperiods and Wavelengths of Light on the Life-History Traits of an Aphidophagous Ladybird, *Coelophora saucia* (Mulsant) [J]. Journal of Applied Entomology, 2006,

- 130(1): 45-50.
- [11] OMKAR, SINGH S K. Mating Behaviour of the Aphidophagous Ladybird Beetle *Coelophora saucia* (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. International Journal of Tropical Insect Science, 2010, 30(1): 3-10.
- [12] OMKAR O, SINGH S K, MISHRA G. Parental Age at Mating Affects Reproductive Attributes of the Aphidophagous Ladybird Beetle, *Coelophora saucia* (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. European Journal of Entomology, 2010, 107(3): 341-347.
- [13] Omkar, Mishra G. Simultaneous rather than sequential polyandry increases fitness under varying temperature regimes in an aphidophagous ladybird[J]. Acta Entomologica Sinica, 2014, 57(10): 1180-1187.
- [14] OMKAR, PATHAK S. Prey Species Affects the Performance of the Aphidophagous Ladybird, *Coelophora saucia* [J]. Journal of Asia-Pacific Entomology, 2014, 17(3): 451-457.
- [15] PERVEZ A, CHANDRA S. Host Plant-Mediated Prey Preference and Consumption by an Aphidophagous Ladybird, *Menochilus sexmaculatus* (Fabricius) (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. Egyptian Journal of Biological Pest Control, 2018, 28(1): 54.
- [16] SALEEM M, HUSSAIN D, ANWAR H, et al. Predation efficacy of *Menochilus sexmaculatus* Fabricius (Coleoptera: Coccinellidae) against *Macrosiphum rosae* under laboratory conditions[J]. Journal of Entomology and Zoology Studies, 2014, 2(3): 160-163.
- [17] 邱良妙, 刘其全, 陈秀琴, 等. 六斑月瓢虫对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食作用 [J]. 中国生物防治学报, 2023, 39(2): 471-477.
- [18] 唐良德, 臧连生. 六斑月瓢虫生物生态学及其生物防治研究进展 [J]. 中国生物防治学报, 2023, 39(3): 697-709.
- [19] HOLLING C S. Some Characteristics of Simple Types of Predation and Parasitism [J]. The Canadian Entomologist, 1959, 91(7): 385-398.
- [20] 丁岩钦, 兰仲雄, 陈玉平. 天敌-害虫作用系统中寻找效应数学模型的研究[J]. 生态学报, 1983, 3(2): 141-147.
- [21] HASSELL M P. A Population Model for the Interaction between *Cyzenis Albicans* (Fall.) (Tachinidae) and *Operophtera brumata* (L.) (Geometridae) at Wytham, Berkshire [J]. The Journal of Animal Ecology, 1969, 38(3): 567.
- [22] 邹运鼎, 耿继光, 陈高潮, 等. 异色瓢虫若虫对麦二叉蚜的捕食作用[J]. 应用生态学报, 1996, 7(2): 197-200.
- [23] WATT K E F. A Mathematical Model for the Effect of Densities of Attacked and Attacking Species on the Number Attacked [J]. The Canadian Entomologist, 1959, 91(3): 129-144.
- [24] 孔琳, 李玉艳, 王孟卿, 等. 多异瓢虫和异色瓢虫对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食能力评价 [J]. 中国生物防治学报, 2019, 35(5): 709-714.
- [25] YANG L, XU L, LIU B, 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.
- [26] 戴志一. 黄斑瓢虫发生规律和捕食效应的研究[J]. 生物防治通报, 1990, 6(3): 113-115.
- [27] 庞虹. 六斑月瓢虫的色斑变异[J]. 昆虫天敌, 1990, 12(2): 82-84.
- [28] 任顺祥. 中国瓢虫原色图鉴 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [29] 王祥林, 陈文静, 苏达明. 温度对六斑月瓢虫生长发育及繁殖的影响 [J]. 西南林业大学学报, 2012, 32(4): 76-80.
- [30] 吴沐秀, 张晓媛, 咎庆安, 等. 七星瓢虫对豌豆修尾蚜的捕食功能反应 [J]. 南方农业学报, 2022, 53(11):

3128-3136.

- [31] 王晓琪, 周亚媛, 冯朝阳, 等. 异色瓢虫对柴胡明蚜的捕食作用 [J]. 植物保护, 2022, 48(3): 211-215.
- [32] 崔晓宁, 席驳鑫, 张博鸿, 等. 异色瓢虫对苜蓿上豌豆蚜和牛角花齿蓟马的捕食效能及捕食偏好性 [J]. 中国生物防治学报, 2023, 39(1): 38-45.
- [33] 王庆森, 鞠晓蕾, 黄建. 六斑月瓢虫对茶蚜的捕食作用及生物农药的安全性评价 [J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2014, 43(6): 568-572.
- [34] 金海峰, 付步礼, 邱海燕, 等. 高温胁迫六斑月瓢虫对其生物学特性及其捕食作用的影响 [J]. 应用昆虫学报, 2020, 57(3): 700-707.
- [35] 李善光, 付步礼, 邱海燕, 等. 六斑月瓢虫对黄胸蓟马若虫的室内捕食作用研究 [J]. 应用昆虫学报, 2020, 57(5): 1173-1180.
- [36] 何万财, 叶青青, 王飞凤, 等. 六斑月瓢虫对柑橘木虱的捕食作用 [J]. 中国生物防治学报, 2023, 39(3): 514-522.
- [37] 唐良德, 李飞, 吴建辉, 等. 六斑月瓢虫捕食不同猎物的功能反应研究 [J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(2): 202-207.
- [38] 李秋荣, 祁全梅, 来有鹏. 十一星瓢虫对枸杞棉蚜的捕食作用研究 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42(6): 1472-1481.
- [39] 李盼, 朱津贤, 莫小娜, 等. 六斑月瓢虫对普通大蓟马的捕食功能反应 [J]. 中国生物防治学报, 2022, 38(1): 140-148.
- [40] 于静亚, 董立坤, 王志华, 等. 龟纹瓢虫成虫对3种害虫的捕食作用 [J]. 环境昆虫学报, 2023, 45(1): 189-195.
- [41] 廖贤斌, 高平, 赵航, 等. 叉角厉蝽成虫对粘虫幼虫的捕食功能反应 [J]. 南方农业学报, 2020, 51(8): 1992-1997.

责任编辑 王新娟