东亚小花蝽对四种苜蓿害虫的捕食能力评估

李子涵 朱凯辉 刘 旭 李德军 樊晓路 范雯婕 涂雄兵*

（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：为明确东亚小花蝽*Orius sauteri*对苜蓿田4种主要害虫的捕食能力，在实验室条件下测定东亚小花蝽雌、雄成虫对苜蓿斑蚜*Therioaphis trifolii*、豌豆蚜*Acyrthosiphon pisum*、西花蓟马*Frankliniella occidentalis*和牛角花齿蓟马*Odontothrips loti*的捕食量，并对捕食功能反应、搜寻效应及自身密度干扰效应进行拟合与分析。结果表明：东亚小花蝽对4种害虫的捕食功能反应均符合Holling II型模型，其中对西花蓟马的捕食效率最高，理论日最大捕食量达61.305~63.343头，控害效能超过70%，而对苜蓿斑蚜和豌豆蚜2种蚜虫的捕食效率较低；搜寻效应随猎物密度增加而下降，其中对蓟马类害虫的搜寻效应下降较缓，对蚜虫类害虫的下降显著；东亚小花蝽自身密度增加显著抑制个体捕食量，表明东亚小花蝽个体间存在强烈干扰效应，且性别间无显著差异。

关键词：东亚小花蝽；苜蓿斑蚜；豌豆蚜；西花蓟马；牛角花齿蓟马；捕食功能反应；生物防治

Evaluation of the predation capacity of mulberry flower bug *Orius sauteri* on four alfalfa pest species

Li Zihan Zhu Kaihui Liu Xu Li Dejun Fan Xiaolu Fan Wenjie Tu Xiongbing*

（State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China）

Abstract: To clarify the predation capacity of mulberry flower bug *Orius sauteri* on four major insect pests in alfalfa fields, the daily predation rates of female and male adults of *O. sauteri* on *Therioaphis trifoli*i, *Acyrthosiphon pisum*, *Frankliniella occidentalis*, and *Odontothrips loti* were measured under laboratory conditions. The functional response, searching efficiency, and intraspecific interference effects were fitted and analyzed. The results showed that the functional responses of *O. sauteri* to all four pest species conformed to the Holling type II model. *Orius sauteri* exhibited the highest predation efficiency against *F. occidentalis*, with a theoretical maximum daily predation rate of 61.305−63.343 individuals and a pest control efficacy exceeding 70%, whereas its predation efficiency against the two aphid species (*T. trifolii* and *A. pisum*) was relatively low. Searching efficiency decreased with increasing prey density, with a slower decline for thrips and a more pronounced decline for aphids. An increase in the density of *O. sauteri* significantly reduced individual predation, indicating strong intraspecific interference among *O. sauteri* individuals, with no significant difference between sexes.

Key words: *Orius sauteri*; *Therioaphis trifolii*; *Acyrthosiphon pisum*; *Frankliniella occidentalis*; *Odontothrips loti*; functional response; biological control

紫花苜蓿*Medicago sativa*作为世界上最重要的豆科牧草之一，因其蛋白质含量高、适应性强在全球范围内被广泛种植，对畜牧业的发展至关重要（Yang et al.，2021；Francis et al.，2022）。然而，在其

基金项目：财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系资助（CARS-33）

* 通信作者（Author for correspondence），E-mail：txb1208@163.com

收稿日期：2025-09-28

生长过程中，常遭受多种害虫的侵袭，其中苜蓿斑蚜 *Therioaphis trifolii*、豌豆蚜 *Acyrthosiphon pisum* 等蚜虫类和西花蓟马 *Frankliniella occidentalis*、牛角花齿蓟马 *Odontothrips loti* 等蓟马类是为害最严重的两类刺吸式害虫（Tu et al.，2018；Chen et al.，2019）。它们通过直接取食植株汁液、传播植物病毒等方式，造成苜蓿产量与品质的严重下降，带来巨大的经济损失。长期以来，化学防治是控制这些害虫的主要手段（Li et al.，2021）。但过度依赖化学农药不仅易使害虫产生抗药性，破坏田间生态平衡，还会导致农药残留问题，对环境和人畜安全构成威胁（Bras et al.，2022；Zhu et al.，2023）。因此，寻求安全、有效且可持续的替代防治策略已成为当前研究的重点，利用天敌昆虫进行控制的生物防治因其环境友好性和可持续性而备受青睐（Lyu et al.，2023；Sun et al.，2024）。

花蝽科昆虫是农业生态系统中一类重要的捕食性天敌，其成虫和若虫均能捕食蚜虫、蓟马、粉虱、螨类等多种小型害虫（Queiroz et al.，2015；Furihata et al.，2019）。东亚小花蝽 *Orius sauteri* 是我国以及东亚地区的一种本土优势天敌物种，具有分布广、繁殖力强、捕食范围广、搜索能力强等特点，在田间对蓟马类和蚜虫类害虫具有显著的控制潜力（Canova et al.，2025）。目前，关于东亚小花蝽作为生物防治作用物的研究已积累了一定基础，国内外学者多聚焦于其对单一目标害虫的捕食效能评估（Ndakidemi et al.，2022）。如张凤阁等（2023）系统研究了东亚小花蝽对茶棍蓟马 *Dendrothrips minowai* 的捕食功能，证实东亚小花蝽成虫的捕食功能反应符合 Holling II 型模型，并评估了其搜寻效应与干扰效应；孙贝贝等（2020）评估了东亚小花蝽对草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 1 龄幼虫的捕食潜力，同样拟合出 Holling II 型功能反应模型。然而，这些研究多局限于单一猎物系统，且未针对苜蓿田害虫，缺乏对不同猎物捕食效能的平行比较，也较少整合搜寻效应与种内干扰效应等关键行为参数，限制了研究结果在田间释放策略中的直接应用。

基于此，本研究在同一试验条件下平行比较东亚小花蝽对苜蓿斑蚜、豌豆蚜、西花蓟马、牛角花齿蓟马 4 种主要刺吸式害虫的捕食能力，明确其对不同害虫的控害效能排序；同时，通过构建功能反应–搜寻效应–干扰效应三位一体的综合评估框架，系统解析东亚小花蝽从个体捕食行为到种群内相互作用的完整行为链条，并明确其雌、雄成虫的捕食功能差异，以期为东亚小花蝽在苜蓿害虫综合治理中应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试昆虫：东亚小花蝽为本实验室饲养 10 代以上的品系，选取羽化 24 h 内的东亚小花蝽雌、雄成虫供试；以桃蚜 *Myzus persicae* 作为饲料饲养，桃蚜购买自全应昆虫生物股份有限公司。苜蓿斑蚜、豌豆蚜、西花蓟马和牛角花齿蓟马 4 种害虫均为本实验室饲养 20 代以上的品系，选取羽化 24 h 内的苜蓿斑蚜和豌豆蚜成虫，以及西花蓟马与牛角花齿蓟马成虫供试；以离体苜蓿顶端枝条作为饲料饲养，苜蓿顶端枝条采集自锡林浩特有害生物监测基地苜蓿田中。以上昆虫饲养条件为温度（25±1）℃、相对湿度（70±5）%、光周期 L 16 h∶D 8 h。

1.2 方法

1.2.1 东亚小花蝽对 4 种苜蓿害虫捕食量的测定

在不同猎物密度下，测定东亚小花蝽对 4 种苜蓿害虫的捕食量。苜蓿斑蚜成虫密度梯度为 1、5、10、20、30、40 和 50 头/皿；豌豆蚜成虫密度梯度为 1、2、4、8、12、16 和 24 头/皿；西花蓟马和牛角花齿蓟马成虫密度梯度均为 1、5、10、25、50、75 和 100 头/皿。不同害虫按照不同密度接入直径 9.0 cm、高 1.5 cm 的一次性塑料培养皿中，底垫有灭菌后的滤纸，且放置 1 根带有 5~6 片苜蓿叶片的新鲜苜蓿顶端枝条作为饲料。每种害虫每个密度处理设置 5 个生物学重复，待害虫在培养皿中定殖 1 h 后，分别接入饥饿处理 24 h 后的东亚小花蝽雌成虫或雄成虫，每个培养皿接入 1 头，24 h 后统计被东亚小花蝽捕食的苜蓿害虫数量。以上试验条件为温度（25±1）℃、相对湿度（70±5）%、光周期 L 16 h∶D 8 h。

1.2.2 东亚小花蝽对四种苜蓿害虫的捕食功能反应模型

为明确供试天敌东亚小花蝽雄、雌成虫的捕食行为特性，本研究通过拟合 1.2.1 中测得的不同猎物密度下的捕食量数据，以判别其对 4 种猎物的功能反应类型。判别依据主要包括模型拟合优度与曲线的生物学特征。分别使用 Holling I 型、Holling II 型和 Holling III 型圆盘方程模型对试验数据进行拟合，对应方程分别为 $N_a=aN$，$N_a=aNT_r/(1+aT_hN)$ 和 $N_a=aN^2/(1+aT_hN^2)$，式中，N_a 为捕食量，N 为猎物密度，a 为瞬时攻击率，T_h 为捕食者捕食 1 头猎物的处理时间，T_r 为试验总时间（T_r=24 h）。基于非线性最小二乘法进行参数估计，并比较各模型的决定系数 R^2 和赤池信息量准则（Akaike information criterion，

AIC)值,以R^2最大且AIC值最小即拟合优度最高的模型作为最终确定的功能反应类型。结合曲线形状进行生物学验证,若捕食率随猎物密度增加呈线性上升关系,则判定为I型;若呈初始快速上升后逐渐趋于饱和的凸形曲线,且捕食效率N_a/N持续下降,则判定为II型;若呈S形曲线,即在低密度下捕食率上升缓慢,超过一定阈值后迅速增加,最后趋于饱和,且捕食效率先升后降,则判定为III型(Holling,1959)。使用GraphPad Prism 6.0软件进行捕食功能反应类型的判断以及捕食功能方程拟合。

1.2.3 *东亚小花蝽对4种苜蓿害虫的搜寻效应拟合*

搜寻效应是指捕食者在单位时间内发现并捕获猎物的能力,是评估天敌控害潜力的重要行为生态学参数。本研究依据捕食功能反应模型参数,对东亚小花蝽雌、雄成虫对4种苜蓿害虫的搜寻效应进行拟合分析。由于1.2.2中已判定东亚小花蝽对4种害虫的捕食功能反应均符合Holling II型模型,因此采用该模型对应的搜寻效应公式进行计算(丁岩钦,1994),即搜寻效应$S=a/(1+aT_hN)$。

1.2.4 *东亚小花蝽自身密度对捕食的干扰效果测定*

测定东亚小花蝽自身密度对其捕食的影响。每种苜蓿害虫分别设置固定密度,其中苜蓿斑蚜为100头/皿,豌豆蚜为50头/皿,西花蓟马为150头/皿,牛角花齿蓟马为150头/皿,并在培养皿中放置1根带有5~6片苜蓿叶片的新鲜苜蓿顶端枝条供害虫取食。将饥饿处理24 h、羽化24 h内的东亚小花蝽雌、雄成虫分别按1、3、5、7和9头/皿的密度接入培养皿中。每个天敌密度处理均设置10个生物学重复。试验条件为温度(25±1) ℃、相对湿度(70±5)%、光周期L 16 h∶D 8 h。接入东亚小花蝽后24 h统计各培养皿中害虫的存活数量,计算东亚小花蝽的捕食量,东亚小花蝽自身密度干扰效应参考Hassell-Varley模型进行拟合(Hassell & Varley,1969)。首先计算捕食作用率E,$E=N_a/(NP)$,式中,N_a为东亚小花蝽捕食的害虫数量(即捕食量),N为猎物固定密度,P为东亚小花蝽密度。然后采用模型方程$E=Q/P^m$拟合捕食作用率E与自身密度P之间的关系,Q为搜寻常数,m为干扰系数。使用GraphPad Prism 6.0软件进行干扰反应方程的拟合。

1.3 数据分析

试验数据用Origin 2021软件进行统计分析,采用单因素方差分析,用Tukey法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 东亚小花蝽对4种苜蓿害虫的日均捕食量

东亚小花蝽雌、雄成虫在不同猎物密度下的日均捕食量均随猎物密度增加而上升,并在高密度条件下逐渐趋于饱和。在最低密度1头/皿的条件下,东亚小花蝽雌、雄成虫均捕食1.00头;随着密度升高至50头/皿,东亚小花蝽雄成虫捕食量达到22.55头,雌成虫为23.45头。当苜蓿斑蚜密度低于30头/皿时,各密度间捕食量差异显著($P<0.05$),但苜蓿斑蚜密度为30、40和50皿/头时,东亚小花蝽各密度间的捕食量均无显著差异。不同猎物密度下东亚小花蝽雌、雄成虫捕食量之间均无显著差异(表1)。

东亚小花蝽对豌豆蚜成虫的日均捕食量随猎物密度增加而显著上升,并在较高密度下趋于饱和。在最低密度1头/皿时,东亚小花蝽雌、雄成虫均捕食1.00头;当豌豆蚜密度增至24头/皿时,东亚小花蝽雄成虫捕食量为11.25头,雌成虫的捕食量为10.95头。当豌豆蚜密度低于12头/皿时,各密度梯度间的东亚小花蝽捕食量差异显著($P<0.05$);而当密度达到12头/皿及以上时,不同密度间的东亚小花蝽捕食量无显著差异,表明捕食反应进入平台期。此外,在同一害虫密度下,东亚小花蝽雌、雄成虫间的捕食量均无显著差异(表1)。

东亚小花蝽对西花蓟马成虫的日均捕食量随猎物密度增加而显著上升,并在高密度下达到饱和。在最低密度1头/皿时,东亚小花蝽雌、雄成虫捕食量均为1.00头;当西花蓟马密度增至100头/皿时,东亚小花蝽雄成虫捕食量为57.41头,雌成虫为59.76头。当西花蓟马密度低于50头/皿时,各密度梯度间东亚小花蝽的捕食量差异显著($P<0.05$);而当密度达到50头/皿及以上时,东亚小花蝽捕食量无显著差异,表明捕食反应进入平台期。同一害虫密度下,东亚小花蝽雌、雄成虫之间的捕食量均无显著差异(表1)。

东亚小花蝽对牛角花齿蓟马成虫的日均捕食量随猎物密度增加而显著上升,并在高密度条件下趋于饱和。在最低密度1头/皿时,东亚小花蝽雌、雄成虫均捕食1.00头;当牛角花齿蓟马密度增至100头/皿时,东亚小花蝽雄成虫捕食量为50.84头,雌成虫捕食量为51.07头。当牛角花齿蓟马密度低于50头/皿时,各密度梯度间东亚小花蝽捕食量差异显著($P<0.05$);而当密度达到50头/皿及以上时,东亚小花蝽捕食量无显著差异,表明捕食反应进入

平台期。同一害虫密度下，东亚小花蝽雌、雄成虫间　　的捕食量均无显著差异（表1）。

表1 东亚小花蝽对4种苜蓿害虫的日均捕食量

Table 1 Daily predation of *Orius sauteri* to four alfalfa pest species

东亚小花蝽性别 Sex of *O. sauteri*	苜蓿斑蚜密度/（头/皿）Density of *Therioaphis trifolii*/(individuals/dish)						
	1	5	10	20	30	40	50
雄成虫 Male adult	1.00±0.00 Ae	4.52±0.51 Ad	8.94±1.08 Ac	18.45±2.45 Ab	21.45±3.55 Aa	22.08±4.55 Aa	22.55±5.15 Aa
雌成虫 Female adult	1.00±0.00 Ae	4.39±0.68 Ad	9.08±0.97 Ac	18.29±2.84 Ab	20.87±2.94 Aa	22.65±3.95 Aa	23.45±4.95 Aa
东亚小花蝽性别 Sex of *O. sauteri*	豌豆蚜密度/（头/皿）Density of *Acyrthosiphon pisum*/(individuals/dish)						
	1	2	4	8	12	16	24
雄成虫 Male adult	1.00±0.00 Ae	1.81±0.21 Ad	3.94±0.68 Ac	7.45±1.28 Ab	9.54±3.01 Aa	10.25±3.05 Aa	11.25±3.25 Aa
雌成虫 Female adult	1.00±0.00 Ae	1.85±0.18 Ad	3.88±0.47 Ac	7.29±1.11 Ab	9.25±2.89 Aa	9.95±2.88 Aa	10.95±3.45 Aa
东亚小花蝽性别 Sex of *O. sauteri*	西花蓟马密度/（头/皿）Density of *Frankliniella occidentalis*/(individuals/dish)						
	1	5	10	25	50	75	100
雄成虫 Male adult	1.00±0.00 Ae	4.95±0.15 Ad	9.58±0.55 Ac	23.54±3.05 Ab	42.25±6.74 Aa	56.35±7.52 Aa	57.41±7.85 Aa
雌成虫 Female adult	1.00±0.00 Ae	4.95±0.25 Ad	9.75±0.45 Ac	22.98±3.25 Ab	45.05±7.55 Aa	59.42±8.05 Aa	59.76±7.55 Aa
东亚小花蝽性别 Sex of *O. sauteri*	牛角花齿蓟马密度/（头/皿）Density of *Odontothrips loti*/(individuals/dish)						
	1	5	10	25	50	75	100
雄成虫 Male adult	1.00±0.00 Ae	5.00±0.00 Ad	8.74±0.94 Ac	22.45±7.52 Ab	40.57±7.24 Aa	48.14±3.54 Aa	50.84±5.65 Aa
雌成虫 Female adult	1.00±0.00 Ae	4.95±0.15 Ad	8.95±0.84 Ac	21.84±6.55 Ab	39.54±5.94 Aa	49.57±4.08 Aa	51.07±5.55 Aa

表中数据为平均数±标准误。同列不同大写字母、同行不同小写字母表示同一害虫密度下东亚小花蝽不同性别成虫间的捕食量以及东亚小花蝽同性别成虫在不同害虫密度下的捕食量经Tukey法检验差异显著（P<0.05）。Data are mean±SE. Different uppercase letters within the same column indicate significant differences in predation rates between male and female *O. sauteri* at the same prey density, while different lowercase letters within the same row indicate significant differences in predation rates across different prey densities for adults of the same sex of *O. sauteri*, as determined by Tukey's test (P<0.05).

2.2 东亚小花蝽对4种苜蓿害虫的捕食功能反应类型

东亚小花蝽雌、雄成虫对4种苜蓿害虫的捕食量均随着猎物密度的增加而增加，但捕食量的增幅均逐渐减缓（图1）。东亚小花蝽雌、雄成虫对4种苜蓿害虫的捕食功能反应均符合Holling II模型，经Holling II圆盘方程拟合得到捕食功能反应方程，且R^2均高于0.95（表2）。

东亚小花蝽对不同苜蓿害虫的捕食效率存在明显差异。东亚小花蝽对西花蓟马的瞬时攻击率最高，雄成虫和雌成虫的瞬间攻击率分别为0.988 d^{-1}和0.962 d^{-1}；处理时间最短，雄成虫和雌成虫的处理时间均为0.016 d，因此，具有最大的理论日最大捕食量和最高的控害效能，理论日最大捕食量为61.305~63.343头，控害效能在70%以上。东亚小花蝽对2种蚜虫的捕食效率相对较低，其中对豌豆蚜的瞬时攻击率最低，处理时间最长，其理论日最大捕食量和控害效能也均最低（表2）。

2.3 东亚小花蝽对4种苜蓿害虫的搜寻效应

随着苜蓿害虫密度的增加，东亚小花蝽雌、雄成虫对4种苜蓿害虫的搜寻效应均呈逐渐下降趋势（图2）。当猎物密度为1头/皿时，东亚小花蝽对西花蓟马的搜寻效应最高，雄成虫和雌成虫的搜寻效应分别为0.99和0.96，而对豌豆蚜的搜寻效应最低，雄成虫和雌成虫的搜寻效应分别为0.72和0.75。随着猎物密度增大至最高设置密度时，所有处理组的搜寻效应均下降至0.3以下。东亚小花蝽对2种蓟马的搜寻效应在低密度下较高，且随密度上升下降较为平缓；而对2种蚜虫的搜寻效应整体较低，尤其在低至中猎物密度区间下降更为显著。

2.4 东亚小花蝽自身密度对捕食量的干扰效果

随着东亚小花蝽自身密度的增加，其个体对4种苜蓿害虫的日均捕食量均呈下降趋势。当东亚小花蝽密度从1头/皿增至9头/皿时，雄成虫对苜蓿斑蚜的捕食量从20.64头降至8.54头，雌成虫从21.21头降至9.04头；雄成虫对豌豆蚜的捕食量从12.47头降至3.84头，雌成虫从11.52头降至4.08头；雄成虫对西花蓟马的捕食量从48.54头降至13.62头，雌成虫从51.27头降至14.27头；雄成虫对牛角花齿蓟马的捕食量从49.52头降至11.64头，雌成虫从52.74头降至12.42头。东亚小花蝽在同一密度下其雌、雄成虫

间的捕食量均无显著差异(表3)。

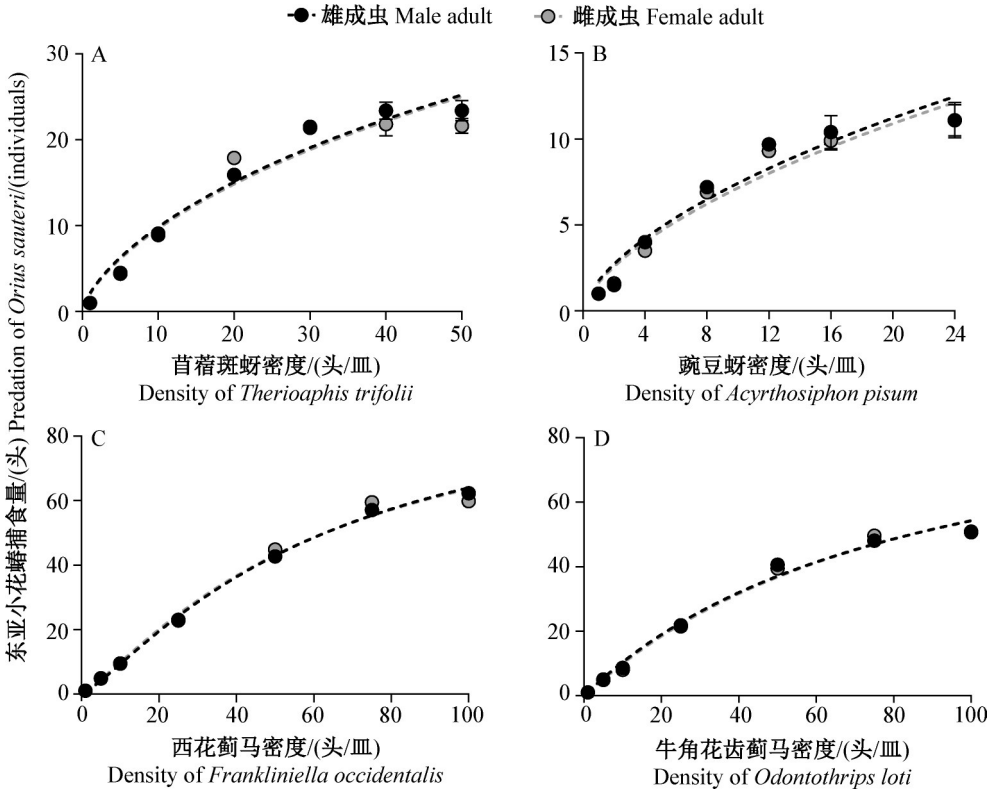


图1 东亚小花蝽雄、雌成虫对4种苜蓿害虫捕食功能反应

Fig. 1 Predatory functional responses of male and female *Orius sauteri* to four alfalfa pest species

表2 东亚小花蝽对4种苜蓿害虫的捕食功能反应参数

Table 2 Functional response parameters of *Orius sauteri* to four alfalfa pest species

苜蓿害虫 Alfalfa pest	东亚小花蝽性别 Sex of *Orius sauteri*	功能反应方程 Functional response equation	R^2	瞬时攻击率 Instantaneous attack rate/d^{-1}	处理时间 Handling time/d	理论日最大捕食量 Theoretical maximum daily predation	控害效能 Predation capacity/%
苜蓿斑蚜 *Therioaphis trifolii*	雄成虫 Male adult	N_a=0.891N/(1+0.025N)	0.992	0.891	0.028	35.611	50.204
	雌成虫 Female adult	N_a=0.925N/(1+0.024N)	0.993	0.925	0.026	38.241	53.802
豌豆蚜 *Acyrthosiphon pisum*	雄成虫 Male adult	N_a=0.723N/(1+0.028N)	0.981	0.723	0.039	25.514	35.104
	雌成虫 Female adult	N_a=0.752N/(1+0.029N)	0.978	0.752	0.039	26.041	36.600
西花蓟马 *Frankliniella occidentalis*	雄成虫 Male adult	N_a=0.988N/(1+0.016N)	0.995	0.988	0.016	61.305	70.504
	雌成虫 Female adult	N_a=0.962N/(1+0.015N)	0.994	0.962	0.016	63.343	72.103
牛角花齿蓟马 *Odontothrips loti*	雄成虫 Male adult	N_a=0.835N/(1+0.017N)	0.993	0.835	0.021	48.324	60.804
	雌成虫 Female adult	N_a=0.872N/(1+0.017N)	0.992	0.872	0.019	52.114	65.203

N_a:捕食量;N:猎物密度。N_a: Number of prey consumed by *O. sauteri*; N: prey density.

3 讨论

本研究中东亚小花蝽对4种害虫的捕食功能反应均符合Holling II型模型,高密度下捕食量趋于饱和,捕食效率持续下降,印证了捕食效率随猎物密度增加而下降、日捕食量受限于处理时间的核心特征(Holling, 1959)。这一结果与微小小花蝽 *O. minutus*、暗色小花蝽 *O. tristicolor* 等大多数捕食性天敌的研究结论一致(van Lenteren et al., 2017)。与以往多数研究仅聚焦于单一猎物(尤其是西花蓟马)的功

能反应不同(Zhang et al.,2021;Li et al.,2022),本研究通过平行比较多种害虫,首次定量揭示了东亚小花蝽对苜蓿田主要害虫的控害效能由高到低依次为西花蓟马、牛角花齿蓟马、苜蓿斑蚜和豌豆蚜,为田间害虫复合发生时优先部署东亚小花蝽防控蓟马提供了直接决策依据。同时,整合搜寻效应动态变化与自身密度干扰效应分析,弥补了以往对捕食行为过程机制及种群内限制因素关注不足的问题。

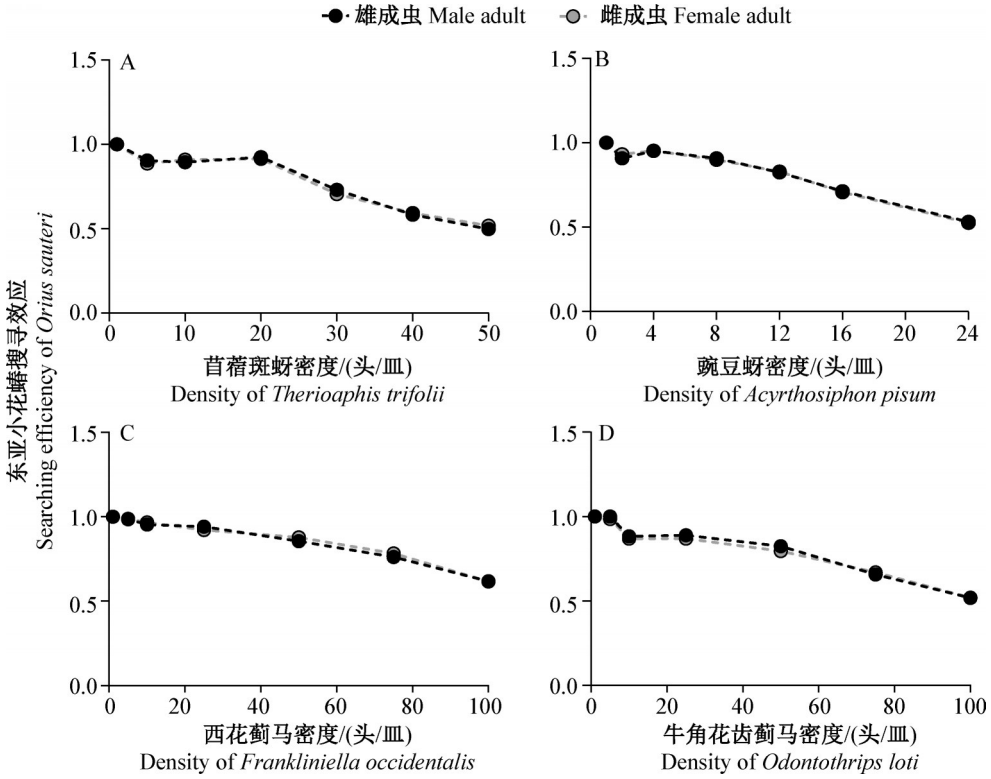


图2　东亚小花蝽雄、雌成虫对4种苜蓿害虫的搜寻效应

Fig. 2　Searching efficiency of male and female *Orius sauteri* to four alfalfa pest species

表3　不同密度东亚小花蝽对4种苜蓿害虫的日均捕食量

Table 3　Daily average predation of four alfalfa pests by *Orius sauteri* at different densities

苜蓿害虫种类 Species of alfalfa pest	东亚小花蝽性别 Sex of *Orius sauteri*	东亚小花蝽密度/(头/皿) *Orius sauteri* density/(individuals/dish)				
		1	3	5	7	9
苜蓿斑蚜 *Therioaphis trifolii*	雄成虫 Male adult	20.64±6.65 Aa	19.47±3.55 Aab	15.27±3.55 Abc	13.27±2.07 Ac	8.54±1.22 Ad
	雌成虫 Female adult	21.21±5.95 Aa	18.23±3.05 Aab	15.07±2.65 Abc	12.44±1.95 Ac	9.04±1.08 Ad
豌豆蚜 *Acyrthosiphon pisum*	雄成虫 Male adult	12.47±2.34 Aa	8.21±0.95 Ab	7.14±0.65 Abc	5.64±0.44 Acd	3.84±0.64 Ad
	雌成虫 Female adult	11.52±1.95 Aa	8.47±0.55 Aa	6.57±0.99 Ab	5.08±0.33 Ac	4.08±0.58 Ad
西花蓟马 *Frankliniella occidentalis*	雄成虫 Male adult	48.54±6.99 Aa	41.57±5.62 Aa	28.41±5.22 Ab	19.64±4.25 Ac	13.62±3.24 Ad
	雌成虫 Female adult	51.27±7.21 Aa	40.27±4.65 Aa	25.46±6.71 Ab	17.65±5.66 Ac	14.27±4.05 Ad
牛角花齿蓟马 *Odontothrips loti*	雄成虫 Male adult	49.52±7.05 Aa	39.74±4.52 Ab	22.37±3.41 Ac	17.52±4.55 Acd	11.64±3.24 Ad
	雌成虫 Female adult	52.74±5.61 Aa	38.61±5.64 Ab	23.57±4.23 Ac	17.05±3.47 Acd	12.42±3.88 Ad

表中数据为平均数±标准误。同列不同大写字母、同行不同小写字母表示同一东亚小花蝽密度下不同性别成虫间的捕食量以及同性别成虫在不同东亚小花蝽密度下的捕食量经Tukey法检验差异显著(P<0.05)。Data are mean±SE. Different uppercase letters within the same column indicate significant differences in predation rates between male and female adults of *O. sauteri* at the same predator density, while different lowercase letters within the same row indicate significant differences in predation rates among different predator densities for adults of the same sex, as determined by Tukey's test (P<0.05).

东亚小花蝽对不同猎物的控害效能存在显著差异，对2种蓟马（尤其是西花蓟马）的捕食能力远优于2种蚜虫，体现在对西花蓟马具有最高的瞬时攻击率、最短的处理时间和最大的理论日最大捕食量。这种捕食效率差异可能源于多重因素的协同作用。从行为与生态位适应性看，东亚小花蝽可能形成了与蓟马在花器、嫩梢等微生境上更高的时空契合度（Zhang et al.，2021），使其搜索和攻击策略更适配于捕捉相对隐蔽的蓟马；而蚜虫常聚集于叶片背面，其空间分布模式需要小花蝽调整搜索策略（Gontijo，2019），这可能在一定程度上影响了其捕食效率。从猎物的物理与化学防御机制来看，蚜虫分泌蜜露的特性构成了一种显著的化学防御机制（Vantaux et al.，2011），蜜露不仅可能污染捕食者栖境，干扰其活动，更重要的是会招致蚂蚁等互利共生昆虫的保护（Way，1963；Stadler & Dixon，2005），这种蚂蚁–蚜虫互利共生关系已被广泛证明能有效威慑或驱赶多种捕食性天敌（Flatt & Weisser，2000；Kaplan & Eubanks，2005），显著增加捕食者成功捕食蚜虫的难度和风险；相比之下，蓟马缺乏类似的强效化学防御信号和强大的共生保护者网络。此外，豌豆蚜相对较大的体型和更强的挣扎能力，可能直接导致东亚小花蝽需要付出更长的处理时间和更大的能量消耗（Griffen & Delaney，2007），这与最优觅食理论中捕食者倾向于选择制服成本较低猎物的规律相符（Stephens & Krebs，1986），而体型更小、物理防御较弱的蓟马则更容易被快速捕食。从营养适合度与捕食偏好来看，以蓟马为食的东亚小花蝽种群，其生长发育速度、繁殖力等适合度参数可能显著优于以蚜虫为食的种群（Hosseini et al.，2021），这与许多捕食性天敌对其主要猎物的营养适应性更高的现象一致（Toft，1995；Cohen et al.，2005）。因此，对东亚小花蝽而言，蓟马不仅更容易捕获，还可能提供更优的营养回报，从长远角度强化了其对蓟马的捕食倾向。

捕食者的搜寻效应随猎物密度增加而下降是Holling II型功能反应模型的必然结果（Holling，1959；Hassell，1978），其机制在于处理时间固定，猎物密度升高，处理累积时间延长，搜索时间比例锐减。本研究中东亚小花蝽对蓟马和蚜虫的搜寻效应均随猎物密度增加而下降，符合模型预期。值得注意的是，低猎物密度下，东亚小花蝽对蓟马的搜寻效应显著高于对2种蚜虫的搜寻效应，表明其在发现低密度、分散分布的蓟马方面具有进化优势或适应性特化（Zhang et al.，2021），这与微生境时空契合度及其高度适配的搜索策略有关。

本研究中东亚小花蝽雌、雄成虫在所有测定的捕食参数之间均无显著差异，这与Canovas et al.（2025）对小花蝽属其他种类昆虫的研究结果一致，表明在天敌大规模商品化繁殖与田间释放中，无需进行复杂昂贵的性别分选，可显著降低生产成本，增强东亚小花蝽作为生物防治产品的经济可行性。

研究结果显示，随着东亚小花蝽自身密度增加，个体捕食量显著下降，符合Hassell-Varley模型（Hassell & Varley，1969）。本研究还发现这种干扰效应在捕食活动能力更强的蓟马时更为剧烈，这可能是因为捕食活跃的蓟马需要投入更多、更广的搜索努力，增加了个体间相遇和干扰的概率。表明田间释放并非密度越高效果越好，存在一个经济最适释放密度。未来研究应结合经济阈值模型，确定不同苜蓿生长阶段和害虫发生水平下的最优释放策略。

综上，建议在苜蓿害虫综合治理中将东亚小花蝽作为防控蓟马（特别是西花蓟马）的核心天敌，并遵循在害虫发生早期、“多点、适量”的释放策略，以规避种内干扰，发挥其高搜寻优势。后期需进一步开展田间试验以验证并优化释放参数，评估其与其他天敌的协同效应，并探究与低毒化学农药的相容性，以构建完整的综合防治方案。

参 考 文 献（References）

Bras A, Roy A, Heckel DG, Anderson P, Karlsson Green K. 2022. Pesticide resistance in arthropods: ecology matters too. Ecology Letters, 25(8): 1746−1759

Canovas ML, Abram PK, Cormier JF, Galstian T, Dorais M. 2025. Artificial lighting affects the predation performance of the insidiosus flower bug (Hemiptera: Anthocoridae) against the western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae). Environmental Entomology, 54(3): 421−431

Chen J, Ullah H, Tu X, Zhang Z. 2019. Understanding the genetic mechanism of resistance in aphid-treated alfalfa (*Medicago sativa* L.) through proteomic analysis. 3 Biotech, 9: 241

Cohen JE, Jonsson T, Carpenter SR. 2005. Body sizes of hosts and parasitoids in a feeding relationship: data and theory. Ecology, 86(1): 220−225

Ding YQ. 1994. Insect mathematical ecology. Beijing: Science Press, pp. 257−304 (in Chinese) [丁岩钦 . 1994. 昆虫数学生态学 . 北京: 科学出版社, pp. 257−304]

Flatt T, Weisser WW. 2000. The effects of mutualistic ants on aphid life history traits. Ecology, 81(12): 3522−3529

Francis H, Debs E, Koubaa M, Alrayess Z, Maroun RG, Louka N. 2022. Sprouts use as functional foods. Optimization of germina-

tion of wheat (*Triticum aestivum* L., alfalfa (*Medicago sativa* L.), and radish (*Raphanus sativus* L.) seeds based on their nutritional content evolution. Foods, 11(10): 1460

Furihata S, Tabuchi K, Okudera S, Takahashi A, Hinomoto N, Shimoda M, Yamaguchi T. 2019. An efficient method for monitoring predatory minute pirate bugs *Orius* spp. (Hemiptera: Anthocoridae) populations using blue-colored sticky traps. Environmental Entomology, 48(2): 426−433

Gontijo LM. 2019. Engineering natural enemy relationships to improve biocontrol in greenhouse ornamentals. Journal of Pest Science, 92(4): 1241−1250

Griffen BD, Delaney DG. 2007. Species invasion shifts the importance of predator dependence. Ecology, 88(12): 3012−3021

Hassell MP, Varley GC. 1969. New inductive population model for insect parasites and its bearing on biological control. Nature, 223(5211): 1133−1137

Hassell MP. 1978. The dynamics of arthropod predator-prey systems. Princeton: Princeton University Press

Holling CS. 1959. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. Canadian Entomologist, 91(7): 385−398

Hosseini M, Mehrparvar M, Zytynska SE, Hatano E, Weisser WW. 2021. Aphid alarm pheromone alters larval behaviour of the predatory gall midge, *Aphidoletes aphidimyza* and decreases intraguild predation by anthocorid bug, *Orius laevigatus*. Bulletin of Entomological Research, 111(4): 445−453

Kaplan I, Eubanks MD. 2005. Aphids alter the community-wide impact of fire ants. Ecology, 86(6): 1640−1649

Li ZY, Wang HZ, An SH, Yin XM. 2021. Nanochitin whisker enhances insecticidal activity of chemical pesticide for pest insect control and toxicity. Journal of Nanobiotechnology, 19(1): 49

Lyu BQ, Wang SC, Wyckhuys KAG, Liu Z. 2023. Biological pest control protects pollinators. Science, 380(6642): 251

Ndakidemi BJ, Mbega ER, Ndakidemi PA, Belmain SR, Arnold SEJ, Woolley VC, Stevenson PC. 2022. Plant-rich field margins influence natural predators of aphids more than intercropping in common bean. Insects, 13(7): 569

Queiroz OS, Ramos RS, Gontijo LM, Picanço MC. 2015. Functional response of three species of predatory pirate bugs attacking eggs of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). Environmental Entomology, 44(2): 246−251

Stadler B, Dixon AFG. 2005. Ecology and evolution of aphid-ant interactions. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 36: 345−372

Stephens DW, Krebs JR. 1986. Foraging theory. Princeton: Princeton University Press

Sun BB, Hou ZR, Dong M, Li JP, Guo XH, Yin Z. 2020. Functional response of *Orius sauteri* to the 1st-instar larvae of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. Journal of Plant Protection, 47(4): 845−851 (in Chinese) [孙贝贝, 侯峥嵘, 董民, 李金萍, 郭喜红, 尹哲. 2020. 东亚小花蝽对草地贪夜蛾1龄幼虫的捕食作用. 植物保护学报, 47(4): 845−851]

Sun K, Fu K, Hu T, Shentu X, Yu XP. 2024. Leveraging insect viruses and genetic manipulation for sustainable agricultural pest control. Pest Management Science, 80(6): 2515−2527

Toft S. 1995. Value of the aphid Rhopalosiphum padi as food for the spider *Lepthyphantes tenuis*. Entomologia Experimentalis et Applicata, 74(3): 221−226

Tu XB, Liu ZK, Zhang ZH. 2018. Comparative transcriptomic analysis of resistant and susceptible alfalfa cultivars (*Medicago sativa* L.) after thrips infestation. BMC Genomics, 19(1): 116

Van Lenteren JC, Bolckmans K, Köhl J, Ravensberg WJ, Urbaneja A. 2017. Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. BioControl, 63: 39−59

Vantaux A, Van den Ende W, Billen J, Wenseleers T. 2011. Large interclone differences in melezitose secretion in the facultatively attended black bean aphid *Aphis fabae*. Journal of Insect Physiology, 57(12): 1614−1621

Way MJ. 1963. Mutualism between ants and honeydew-producing Homoptera. Annual Review of Entomology, 8(1): 307−344

Yang CF, Zhang F, Jiang XQ, Yang XJ, He F, Wang Z, Long RC, Chen L, Yang TH, Wang C, et al. 2021. Identification of genetic loci associated with crude protein content and fiber composition in alfalfa (*Medicago sativa* L.) using QTL mapping. Frontiers in Plant Science, 12: 608940

Zhang FG, Cai XM, Xiu CL, Wang GC, Chen ZM. 2023. Predatory function of mulberry flower bug *Orius sauteri* on tea stick thrips *Dendrothrips minowai* adults. Journal of Plant Protection, 50(3): 668−675 (in Chinese) [张凤阁, 蔡晓明, 修春丽, 王国昌, 陈宗懋. 2023. 东亚小花蝽对茶棍蓟马成虫的捕食功能. 植物保护学报, 50(3): 668−675]

Zhang L, Qin ZF, Liu PP, Yin Y, Felton GW, Shi WP. 2021. Influence of plant physical and anatomical characteristics on the ovipositional preference of *Orius sauteri* (Hemiptera: Anthocoridae). Insects, 12(4): 326

Zhu X, Liu F, Yuchi Z, Yang X, Shakeel M. 2023. Editorial: physiological events associated with pesticide-resistance. Frontiers in Physiology, 14: 1286971

（责任编辑：王 璇）