东亚小花蝽对禾谷缢管蚜成虫的捕食作用*

孙婧婧[1, 2**] 邵 清[1, 2] 李广阔[2] 沈煜洋[2] 李志航[2]
谢成志[2] 樊宗芳[1***] 高海峰[2***]

（1. 新疆农业大学农学院，自治区农林有害生物监测与安全防控重点实验室，乌鲁木齐 830052；
2. 新疆维吾尔自治区农业科学院植物保护研究所，农业农村部西北荒漠绿洲作物有害生物综合治理重点实验室，
国家植物保护库尔勒观测实验站，新疆农业生物安全重点实验室，乌鲁木齐 830091）

摘 要 **【目的】**为明确天敌昆虫东亚小花蝽*Orius sauteri*对重大农业害虫禾谷缢管蚜*Rhopalosiphum padi*的防控潜能。**【方法】** 本研究在实验室条件下，系统评估了东亚小花蝽对禾谷缢管蚜成虫的捕食功能反应与搜寻效应，并进一步探究了种内干扰对其捕食效率的影响。**【结果】** 东亚小花蝽5龄若虫和雌、雄成虫对禾谷缢管蚜成虫的捕食功能反应同时符合Holling Ⅱ和Holling Ⅲ两种模型；Holling Ⅱ模型拟合结果显示，东亚小花蝽5龄若虫和雌、雄成虫对禾谷缢管蚜成虫的瞬间攻击率分别为0.764、0.802和0.754，控害效能分别为11.274、18.670和10.196，其中雌成虫的控害效能最高；Holling Ⅲ模型拟合结果显示，东亚小花蝽5龄若虫和雌、雄成虫对禾谷缢管蚜成虫的日最大捕食量分别为11.250、16.030和10.620头，最佳寻找密度分别为7.326、9.386和7.258头/皿；东亚小花蝽对禾谷缢管蚜成虫的搜寻效应与猎物密度呈负相关，每头天敌的捕食量同样与其自身密度呈负相关。**【结论】** 东亚小花蝽对禾谷缢管蚜具有较好的生防应用潜能。

关键词 东亚小花蝽；禾谷缢管蚜；功能反应；搜寻效应；干扰效应

Predation of *Orius sauteri* (Hemiptera: Anthocoridae) on the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera: Aphididae)

SUN Jing-Jing[1, 2**] SHAO Qing[1, 2] LI Guang-Kuo[2] SHEN Yu-Yang[2] LI Zhi-Hang[2]
XIE Cheng-Zhi[2] FAN Zong-Fang[1***] GAO Hai-Feng[2***]

(1. Key Laboratory of the Pest Monitoring and Safety Control of Crops and Forests, College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Xinjiang Key Laboratory of Agricultural Biosafety, National Plant Protection Scientific Observation and Experiment Station of Korla, Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northwestern Oasis, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Plant Protection, Xinjiang Uygur Autonomous Region Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)

Abstract **[Aim]** To evaluate the potential of the predatory bug *Orius sauteri* (Hemiptera: Anthocoridae) to act as a biocontrol agent for the economically important bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera: Aphididae). **[Methods]** Under controlled laboratory conditions, this study systematically evaluated the functional response and searching efficiency of *O. sauteri* preying on adults of *R. padi*, and further explored the effects of intraspecific interference on its predation efficiency under different natural enemy densities. **[Results]** Predatory functional responses of both 5th instar nymphs and adults fitted both the Holling II and Holling III equations. In the Holling II model, the attack efficiencies of 5th instar nymphs, and female and male adults were 0.764, 0.802, and 0.754, respectively, and their respective predation capacities

*资助项目 Supported projects：农业科技创新稳定支持项目（xjnkywdzc-2025001-91）；自治区人才发展基金“天池英才”引进计划项目；新疆维吾尔自治区重大科技专项（2023A02009）；“天山英才”科技创新领军人才（2024TSYCLJ0040）；现代农业产业技术体系（CARS-03-88）

**第一作者 First author，E-mail：sunjingj2022@163.com
***共同通讯作者 Co-corresponding authors，E-mail：zfan@xjau.edu.cn；ghf20044666@163.com

收稿日期 Received：2025-09-08；接受日期 Accepted：2025-10-20

were 11.274, 18.670, and 10.196. Adult females were the most efficient predators of *R. padi*. In the Holling III model, 5th instar nymphs, and female and male adults had a daily maximum consumption of 11.250, 16.030, and 10.620 individuals, respectively, and an optimal search density of 7.326, 9.386, and 7.258 individuals per dish, respectively. Search efficiency was negatively correlated with predator density, and average individual predation capacity was negatively correlated with the density of *O. sauteri*. **[Conclusion]** These results suggest that *O. sauteri* could be an effective biological control for *R. padi*.

Key words *Orius sauteri*; *Rhopalosiphum padi*; functional response; searching efficiency; intraspecific interference

禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi* 隶属于半翅目 Hemiptera 蚜科 Aphididae，又名禾缢管蚜、麦缢管蚜、黎缢管蚜和小米蚜等，在各地小麦产区广泛分布并能造成严重危害（刘成江，2013；Peng *et al.*，2021）。该害虫具有繁殖能力强、繁殖速度快、田间世代重叠严重、能够迁飞扩散等特点，主要危害小麦、燕麦、黑麦等麦类作物，同时也可危害水稻、玉米和高粱等禾本科作物（刘成江，2013；Schröder *et al.*，2015；Peng *et al.*，2021）。禾谷缢管蚜不仅能刺吸植物组织取食汁液进行危害，还能携带传播黄矮病病毒，引起谷类作物黄萎病，造成作物叶片发黄、植株矮化、分蘖减少、甚至死亡，严重影响小麦等粮食作物的产量和质量（Sadeghi *et al.*，1997；胡亮等，2009；Luo *et al.*，2019）。目前，我国主要利用化学药剂防治禾谷缢管蚜（鲁艳辉和高希武，2016；黄彦娜等，2019；韩冰等，2025；张思茜等，2025），但仅对植株中上部的蚜虫具有较好的防治效果，对分布于叶背及茎基部的蚜虫防治效果较差。并且，化学农药的长期滥用，除会导致禾谷缢管蚜对高效氯氰菊酯、溴氰菊酯以及联苯菊酯等药剂产生抗性外（黄彦娜等，2019；Gong *et al.*，2021；Liu *et al.*，2023；张思茜等，2025），还会引发污染环境、杀伤天敌等一系列生态风险。而利用绿色安全的天敌昆虫来防治害虫，既能规避化学农药引发的生态与健康风险，契合国民对粮食安全的迫切需求，同时还能为我国粮食产业的健康、可持续发展注入持久动力。

东亚小花蝽 *Orius sauteri* 隶属于半翅目 Hemiptera 花蝽科 Anthocoridae，是我国农林生态系统中一种常见的捕食性天敌昆虫，具有捕食能力强、捕食范围广等特点（周伟儒和王韧，1989）。该天敌的成虫和若虫不仅能有效控制蚜虫、蓟马、粉虱和叶螨等多种小型害虫，还能捕食鳞翅目害虫的卵和低龄幼虫，被广泛应用于粮食、果蔬以及花卉等作物的害虫防治，是一种商品化较早的天敌昆虫（周伟儒和王韧，1989；Funao and Yoshiyasu，1995；van Lenteren *et al.*，1997；王方海等，1998；朱正阳等，2022）。有研究表明，东亚小花蝽对甘蓝蚜 *Brevicoryne brassicae*（武予清等，2010）、红花指管蚜 *Uroleucon gobonis*（任向辉等，2019）、花生蚜 *Aphis craccivora*（韦夕平等，2024）以及紫藤蚜 *Aulacophoroides hoffmanni*（于静亚等，2025）等多种蚜类害虫均具有较强的捕食控害能力。然而，该天敌对禾谷缢管蚜的捕食能力及其生物防治应用潜能，目前尚未开展系统性研究。因此，本研究选取东亚小花蝽捕食能力相对较强的 5 龄若虫和雌、雄成虫（张凤阁等，2023）作为研究对象，测定其在不同猎物密度及天敌密度下对禾谷缢管蚜成虫的捕食量，通过拟合捕食功能反应、搜寻效应和干扰反应方程，初步评价东亚小花蝽对禾谷缢管蚜的生防应用潜能，以期为利用该天敌昆虫科学防治禾谷缢管蚜提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试昆虫：东亚小花蝽在养虫盒内用灭活的米蛾 *Corcyra cephalonica* 卵饲喂，芸豆豆荚作为补水和产卵基质，置于温度（25±1）℃、相对湿度 65%±5%、光周期 16 L∶8 D 的人工气候箱（LAC-275-N 型人工气候箱，淮安龙跃实验仪器设备有限公司）中进行继代饲养，待发育至 5 龄若虫和成虫供试。禾谷缢管蚜于 2024 年 6 月采自新疆维吾尔自治区伊犁哈萨克自治州昭苏县小麦田，于人工气候室内[温度（25±1）℃、相对湿度 65%±5%、光周期 16 L∶8 D]，利用健康小麦苗进行继代饲养，选取大小均一的无翅成蚜

供试。

供试植物：小麦品种为新冬 40，利用营养土在相同温湿度的人工气候室内培养至高 15-20 cm 供试。

1.2　方法

1.2.1　东亚小花蝽对禾谷缢管蚜成虫的捕食量测定　东亚小花蝽选用处于相同日龄的 5 龄若虫（蜕皮 24 h 内）和雌、雄成虫（羽化 24 h 内），在捕食试验前分别单头置于 9 cm 的培养皿中，进行 24 h 的饥饿处理。禾谷缢管蚜成虫的密度分别设置为 5、10、15、20、30、40 头/皿，将不同密度的禾谷缢管蚜分别与饥饿处理后的东亚小花蝽 5 龄若虫或雌、雄成虫组合接入 9 cm 的培养皿中，每个密度为 1 个处理，共 18 个处理，每个处理 10 个重复。每个培养皿底部均垫有一层湿滤纸保湿，湿滤纸上同时放入 2 片 5 cm 左右的新鲜小麦叶供禾谷缢管蚜取食。随后，将接有天敌和猎物的培养皿移至人工气候箱[温度（25±1）℃、相对湿度 65%±5%、光周期 16 L∶8 D]，24 h 后统计禾谷缢管蚜成虫的存活个体数，计算不同猎物密度下东亚小花蝽的日捕食量。以在解剖镜下，用小毛刷轻轻触碰禾谷缢管蚜，蚜虫完全没反应判定为个体死亡。日捕食量=（培养皿中原有禾谷缢管蚜成虫数量-培养皿中剩余活虫数量）/1 d。

1.2.2　东亚小花蝽对禾谷缢管蚜成虫的捕食功能反应　利用 Holling Ⅱ和 Holling Ⅲ两种模型拟合东亚小花蝽对禾谷缢管蚜成虫的捕食功能反应。Holling Ⅱ模型方程为 $N_a=aNT_r/(1+aT_hN)$（Holling，1959），其中 N_a 为单头东亚小花蝽捕食禾谷缢管蚜的数量；a 为天敌对猎物的瞬间攻击率；N 为初始猎物密度；T_r 为试验持续时间，本试验为 1 d；T_h 为天敌处理单头猎物所需时间；$1/T_h$ 为天敌对猎物的理论日最大捕食量；a/T_h 为天敌对猎物的控害效能，可通过控害效能 a/T_h 来衡量东亚小花蝽对禾谷缢管蚜的生防应用潜能。Holling Ⅲ模型方程为 $N_a=a'\exp(-b/N)$（汪世泽和夏楚贵，1988），其中 a' 为东亚小花蝽的日均最大捕食量，b 为东亚小花蝽对禾谷缢管蚜的最佳寻找密度。

1.2.3　东亚小花蝽对禾谷缢管蚜成虫的搜寻效应　东亚小花蝽对禾谷缢管蚜成虫的搜寻效应（S）利用方程 $S=a/(1+aT_hN)$（丁岩钦，1994）进行拟合分析。式中，参数 a、T_h 和 N 与 1.2.2 节中 Holling Ⅱ模型拟合参数相同。

1.2.4　东亚小花蝽密度对其自身捕食量的影响　东亚小花蝽选用处于相同日龄的 5 龄若虫（蜕皮 24 h 内）和雌、雄成虫（羽化 24 h 内），在干扰试验前饥饿处理 24 h（方式与 1.2.1 节相同）。将经过饥饿处理的东亚小花蝽 5 龄若虫和雌、雄成虫，分别与禾谷缢管蚜成虫按 1∶40、2∶40、3∶40、4∶40 和 5∶40 头/皿的密度比例接入 9 cm 的培养皿中，每个密度为 1 个处理，共 15 个处理，每个处理重复 10 次。每个培养皿底部均垫有一层湿滤纸保湿，湿滤纸上同时放入 2 片 5 cm 左右的新鲜小麦叶供禾谷缢管蚜取食。随后，将接有天敌和猎物的培养皿移入人工气候箱[温度（25±1）℃、相对湿度 65%±5%、光周期 16 L∶8 D]，24 h 后统计禾谷缢管蚜成虫的存活个体数，计算在不同天敌密度下东亚小花蝽的日捕食量。

东亚小花蝽自身密度对捕食作用的干扰效应采用 Watt 干扰模型：$A=a''P^{-b'}$（Watt，1959）进行拟合分析，其中 A 为平均每头东亚小花蝽的捕食量，a'' 为东亚小花蝽的理论日最大捕食量，P 为天敌密度，b' 为天敌之间的干扰系数。

1.3　数据分析

本研究所有数据均由 Microsoft Excel 2019（Microsoft corporation，USA）和 GraphPad Prism 6.01（GraphPad software，USA）统计分析，采用 Tukey 法对多组数据进行差异显著性分析，利用非线性回归拟合 Holling Ⅱ、Holling Ⅲ、搜寻效应及干扰模型方程并作图。

2　结果与分析

2.1　东亚小花蝽对禾谷缢管蚜成虫的捕食量

东亚小花蝽 5 龄若虫和雌、雄成虫均对禾谷缢管蚜成虫具有较强的捕食能力。当禾谷缢管蚜成虫密度一定时，除密度为 5 头/皿外，东亚小

花蝽雌成虫对猎物的捕食量均显著高于 5 龄若虫和雄成虫（P<0.05）；东亚小花蝽 5 龄若虫对猎物的捕食量略高于雄成虫，但两者之间并无显著差异（P>0.05）（表 1）。在试验设定的猎物密度范围内，随着禾谷缢管蚜成虫密度的增加，东亚小花蝽对其的捕食量也不断增加，在猎物密度为 40 头/皿时达到最大，分别为 5 龄若虫 10.2 头、雌成虫 13.5 头、雄成虫 9.4 头（表 1）。

2.2 东亚小花蝽对禾谷缢管蚜成虫的捕食功能反应

2.2.1 Holling Ⅱ捕食功能反应模型拟合结果

随着禾谷缢管蚜成虫密度的增加，东亚小花蝽 5 龄若虫和雌、雄成虫对其的捕食量均呈上升趋势，但增长速率逐渐递减（图 1：A-C），功能反应模型均符合 Holling Ⅱ方程，拟合度 R^2 分别为 0.958、0.968 和 0.943（表 2）。其中，东亚小花蝽 5 龄若虫和雌、雄成虫对禾谷缢管蚜成虫的瞬间攻击率分别为 0.764、0.802 和 0.754，处理时间分别为 0.068、0.043 和 0.074 d，日最大捕食量分别为 14.758、23.294 和 13.514 头；东亚小花蝽雌成虫对禾谷缢管蚜成虫的控害效能最高（18.670），5 龄若虫次之（11.274），雄成虫最低（10.196）（表 2）。

2.2.2 Holling Ⅲ捕食功能反应模型拟合结果

随着禾谷缢管蚜成虫密度的增加，东亚小花

表 1 东亚小花蝽对不同密度禾谷缢管蚜成虫的捕食量

Table 1 Predation capacity of *Orius sauteri* against the adult of *Rhopalosiphum padi* at different densities

天敌虫态 Stage of predator	不同猎物密度下东亚小花蝽的捕食量 Predation capacity of *O. sauteri* at different prey densities					
	5 头/皿 5 ind./dish	10 头/皿 10 ind./dish	15 头/皿 15 ind./dish	20 头/皿 20 ind./dish	30 头/皿 30 ind./dish	40 头/皿 40 ind./dish
5 龄若虫 5th instar nymph	3.7±0.153 ABe	4.9±0.233 Bd	6.3±0.213 Bc	7.1±0.180 Bc	9.0±0.211 Bb	10.2±0.249 Ba
雌成虫 Female adult	4.1±0.100 Af	5.8±0.249 Ae	7.7±0.153 Ad	9.2±0.359 Ac	12.1±0.348 Ab	13.5±0.224 Aa
雄成虫 Male adult	3.3±0.153 Bd	4.8±0.249 Bc	6.0±0.258 Bb	6.9±0.233 Bb	8.6±0.371 Ba	9.4±0.221 Ba

表中数据为平均值±标准误。同列不同大写字母表示在相同猎物密度下不同虫态东亚小花蝽对猎物的捕食量经 Tukey's 法检验后在 P<0.05 水平上差异显著；同行不同小写字母表示在不同猎物密度下同一虫态东亚小花蝽对猎物的捕食量经 Tukey's 法检验后在 P<0.05 水平上差异显著。

Data in the table are mean±SE. Different uppercase letters in the same column indicate that the predation capacities of *O. sauteri* at different stages on prey exhibit significant difference at the P<0.05 level following Tukey's test under the same prey density. Different lowercase letters in the same row indicate that the predation capacities of *O. sauteri* at the same stage on prey exhibit significant difference at the P<0.05 level following Tukey's test under different prey densities.

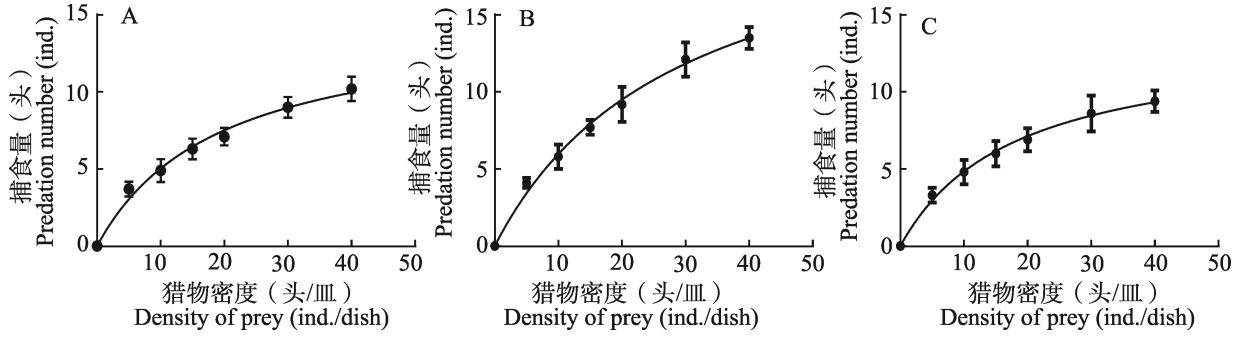


图 1 东亚小花蝽 5 龄若虫（A）和雌（B）、雄成虫（C）对禾谷缢管蚜成虫的 Holling Ⅱ捕食功能反应

Fig. 1 Holling Ⅱ functional responses of the 5th instar nymphs (A), female (B) and male adult (C) of *Orius sauteri* to the adult of *Rhopalosiphum padi*

表 2　东亚小花蝽捕食禾谷缢管蚜成虫的 Holling Ⅱ功能反应模型参数

Table 2　Holling Ⅱ functional response model parameters of *Orius sauteri* to the adult of *Rhopalosiphum padi*

天敌虫态 Stage of predator	功能反应方程 Functional response equation	瞬间攻击率 Attacking efficiency	处理时间（d） Handling time (d)	日最大捕食量(头） Maximum daily predation (ind.)	控害效能 Predation capacity	R^2
5 龄若虫 5th instar nymph	N_a=0.764N/(1+0.052N)	0.764±0.043	0.068±0.003	14.758	11.274	0.958
雌成虫 Female adult	N_a=0.802N/(1+0.034N)	0.802±0.038	0.043±0.002	23.294	18.670	0.968
雄成虫 Male adult	N_a=0.754N/(1+0.056N)	0.754±0.050	0.074±0.004	13.514	10.196	0.943

表中数据为平均值±标准误。N_a：东亚小花蝽捕食猎物的数量；N：猎物密度。表 3 同。

Data in the table are mean±SE. N_a: Predation amount of *O. sauteri*; N: Prey density. The same for Table 3.

蝽 5 龄若虫和雌、雄成虫对其的捕食量先随猎物密度的增加急剧增加，而后增加趋势逐渐减缓，最后趋于平稳（图 2：A-C），功能反应模型同时符合 Holling Ⅲ方程，拟合度 R^2 分别为 0.926、0.935 和 0.921（表 3）。其中，东亚小花蝽 5 龄若虫和雌、雄成虫对禾谷缢管蚜成虫的日最大捕食量分别为 11.250、16.030 和 10.620 头，最佳寻找密度分别为 7.326、9.386 和 7.258 头/皿（表 3）。

2.3　东亚小花蝽对禾谷缢管蚜成虫的搜寻效应

随着禾谷缢管蚜成虫密度的增加，东亚小花蝽 5 龄若虫和雌、雄成虫对其的搜寻效应均逐渐降低，表明猎物密度升高导致其搜寻难度降低，东亚小花蝽对猎物的搜寻时间相应缩短（图 3：A-C）。当猎物密度为 5 头/皿时，东亚小花蝽 5 龄若虫和雌、雄成虫的搜寻效应分别为 0.607、0.684

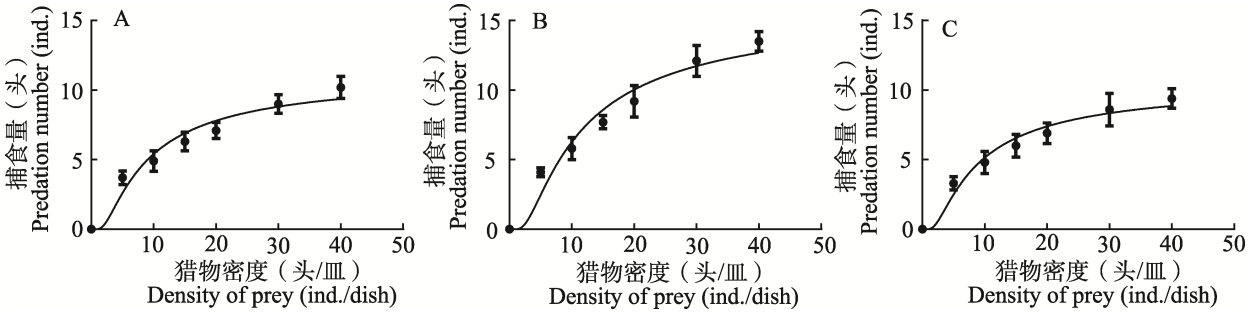


图 2　东亚小花蝽 5 龄若虫（A）和雌（B）、雄成虫（C）对禾谷缢管蚜成虫的 Holling Ⅲ捕食功能反应

Fig. 2　Holling Ⅲ functional responses of the 5th instar nymphs (A), female (B) and male adult (C) of *Orius sauteri* to the adult of *Rhopalosiphum padi*

表 3　东亚小花蝽捕食禾谷缢管蚜成虫的 Holling Ⅲ功能反应模型参数

Table 3　Holling Ⅲ functional response model parameters of *Orius sauteri* to the adult of *Rhopalosiphum padi*

天敌虫态 Stage of predator	功能反应方程 Functional response equation	日最大捕食量(头） Daily maximum predation (ind.)	最佳寻找密度（头/皿） Optimal searching density (ind./dish)	R^2
5 龄若虫 5th instar nymph	N_a=11.250exp/(- 7.326/N)	11.250±0.332	7.326±0.503	0.926
雌成虫 Female adult	N_a=16.030exp/(- 9.386/N)	16.030±0.494	9.386±0.580	0.935
雄成虫 Male adult	N_a=10.620exp/(- 7.258/N)	10.620±0.324	7.258±0.518	0.921

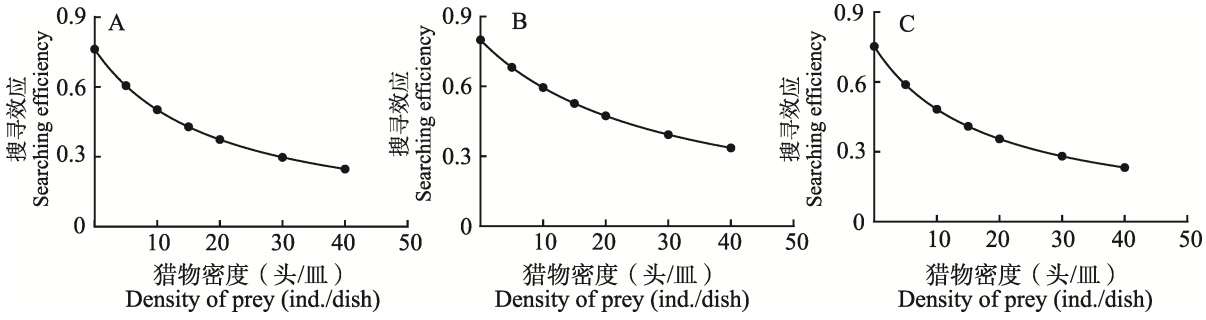


图 3　东亚小花蝽 5 龄若虫（A）和雌（B）、雄成虫（C）对禾谷缢管蚜成虫的搜寻效应

Fig. 3　Searching efficiencies of the 5th instar nymph (A), female (B) and male adult (C) of *Orius sauteri* to the adult of *Rhopalosiphum padi*

和 0.590；当猎物密度增至 40 头/皿时，搜寻效应分别降至 0.249、0.337 和 0.233；在相同猎物密度下，东亚小花蝽雌成虫对猎物的搜寻效应相对较高，5 龄若虫次之，雄成虫最低（图 3：A-C）。当猎物密度最大分别为 10.197、17.525 和 9.116 头/皿时，东亚小花蝽 5 龄若虫和雌、雄成虫对禾谷缢管蚜的搜寻效应均能达到 50%以上。

2.4　东亚小花蝽自身密度对其捕食作用的影响

在禾谷缢管蚜成虫数量不变且捕食空间固定的情况下，随着东亚小花蝽 5 龄若虫和雌、雄成虫密度的增加，其对禾谷缢管蚜成虫的日捕食量逐渐降低，5 龄若虫的日捕食量由 10.200 头逐渐降低至 4.380 头，雌成虫的日捕食量由 14.200 头逐渐降低至 6.920 头，雄成虫的日捕食量由 9.800 头逐渐降低至 3.980 头。表明东亚小花蝽对禾谷缢管蚜的捕食行为，会受到种内干扰作用和个体竞争的显著影响（表 4）。

拟合 Watt 干扰模型得出（Watt，1959），东亚小花蝽捕食禾谷缢管蚜的自身密度干扰方程分别为 5 龄若虫 $A=10.110P^{-0.524}$（$R^2=0.905$）、雌成虫 $A=14.040P^{-0.470}$（$R^2=0.902$）、雄成虫 $A=9.689P^{-0.553}$（$R^2=0.907$）。其中，东亚小花蝽雄成虫间的干扰和竞争最大，干扰系数为 0.553；5 龄若虫间的干扰和竞争略低，干扰系数为 0.524；雌成虫间的干扰和竞争最小，干扰系数为 0.470（图 4：

表 4　东亚小花蝽对禾谷缢管蚜成虫的捕食量

Table 4　Predation capacity of *Orius sauteri* against the adult of *Rhopalosiphum padi*

天敌虫态 Stage of predator	不同天敌密度下东亚小花蝽的捕食量 Predation capacity of *O. sauteri* at different predator densities				
	1 头/皿 1 ind. /dish	2 头/皿 2 ind./dish	3 头/皿 3 ind./dish	4 头/皿 4 ind./dish	5 头/皿 5 ind./dish
5 龄若虫 5th instar nymph	10.200±0.249 Ba	6.800±0.249 Bb	5.567±0.150 Bc	5.125±0.259 Bcd	4.380±0.121 Bd
雌成虫 Female adult	14.200±0.467 Aa	9.850±0.269 Ab	8.100±0.205 Ac	7.425±0.124 Acd	6.920±0.196 Ad
雄成虫 Male adult	9.800±0.291 Ba	6.250±0.171 Bb	5.367±0.195 Bc	4.675±0.175 Bcd	3.980±0.178 Bd

表中数据为平均值±标准误。同列不同大写字母表示在相同天敌密度下不同虫态东亚小花蝽对猎物的捕食量经 Tukey's 法检验后在 $P<0.05$ 水平上差异显著；同行不同小写字母表示在不同天敌密度下同一虫态东亚小花蝽对猎物的捕食量经 Tukey's 法检验后在 $P<0.05$ 水平上差异显著。

Data in the table are mean±SE. Different uppercase letters in the same column indicate that the predation capacities of *O. sauteri* at different stages on prey exhibit significant difference at the $P<0.05$ level following Tukey's test under the same predator density. Different lowercase letters in the same row indicate that the predation capacities of *O. sauteri* at the same stage on prey indicate significant difference at the $P<0.05$ level following Tukey's test under different predator densities.

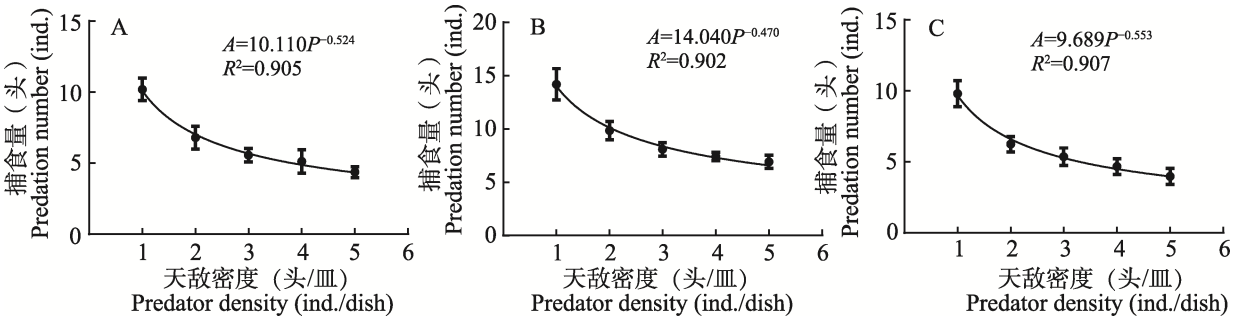


图 4　东亚小花蝽 5 龄若虫（A）和雌（B）、雄成虫（C）自身密度对其捕食量的影响

Fig. 4　Effects of the predator density of the 5th instar nymph (A), female (B) and male adult (C) of *Orius sauteri* on its predatory capacities

A：每只天敌的捕食量；*P*：天敌密度。

A: Predation number of *O. sauteri*; *P*: Predator density.

A-C）。东亚小花蝽对禾谷缢管蚜成虫的理论日最大捕食量分别为 5 龄若虫 10.110 头、雌成虫 14.040 头、雄成虫 9.689 头，与无干扰情况下（天敌密度为 1 头/皿时）东亚小花蝽的实际日捕食量接近（表 4）。

3　结论与讨论

明确天敌昆虫对目标害虫的控害能力，是将其应用于生物防治的重要基础，而捕食功能反应试验是评估天敌防治潜能的经典方法（Holling，1959；孙婧婧等，2021，2022）。试验结果显示，东亚小花蝽 5 龄若虫和雌、雄成虫对禾谷缢管蚜成虫的捕食功能反应均符合 Holling Ⅱ模型，这与其捕食鳞翅目害虫草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 1 龄幼虫（孙贝贝等，2020）和番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* 卵（王瑞娟等，2023），缨翅目害虫棉蓟马 *Thrips tabaci* 成虫（武予清等，2010）和茶棍蓟马 *Dendrothrips minowai* 成虫（张凤阁等，2023），半翅目害虫甘蓝蚜成虫（武予清等，2010）、红花指管蚜若虫（任向辉等，2019）、紫藤蚜若虫（于静亚等，2025）和烟粉虱 *Bemisia tabaci* 若虫（刘心怡等，2024）等多种害虫的功能反应模型一致。

Holling Ⅱ模型拟合结果中的日最大捕食量和控害效能是评估天敌捕食能力的重要指标（Holling，1959；孙婧婧等，2021，2022）。本研究发现，东亚小花蝽 5 龄若虫和雌、雄成虫对禾谷缢管蚜成虫的日最大捕食量顺序为：雌成虫（23.294 头）>5 龄若虫（14.758 头）>雄成虫（13.514 头），控害效能顺序为：雌成虫（18.670）>5 龄若虫（11.274）>雄成虫（10.196）。相对于 5 龄若虫和雄成虫，东亚小花蝽雌成虫对禾谷缢管蚜具有较大的日最大捕食量和较高的控害效能，这与东亚小花蝽捕食东方黏虫 *Mythimna separata* 1 龄幼虫（杨浩岚等，2023）、蠋蝽 *Arma custos* 捕食棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 3 龄幼虫（孙婧婧等，2021）和红彩瑞猎蝽 *Rhynocoris fuscipes* 捕食菜青虫 *Pieris rapae* 3 龄幼虫（郭义等，2025）的结果一致，即天敌昆虫雌成虫对害虫的控害潜能更高。可能是因为雌成虫体型较大，对猎物的控制能力较高，并且需要取食更多的猎物来满足自身卵巢发育和产卵的营养需求。综上所述，在利用东亚小花蝽防治禾谷缢管蚜时，理论上应使用捕食能力更强的雌成虫，但由于东亚小花蝽 5 龄若虫的饲养时间短，捕食周期长，在应用时能够捕食更多的害虫，因此可优先考虑释放 5 龄若虫进行防治，能够在节约成本的同时提高天敌昆虫的利用率。

本研究结果显示，东亚小花蝽 5 龄若虫和雌、雄成虫对禾谷缢管蚜成虫的捕食功能反应同时符合 Holling Ⅲ模型，该模型拟合结果中的日最大捕食量和最佳寻找密度同样是评估天敌捕食能力的重要指标（朱亮等，2015；陈苏怡等，2023；于静亚等，2025）。通过拟合 Holling Ⅲ捕食功能反应模型，得到东亚小花蝽对禾谷缢管蚜的日最大捕食量分别为：5 龄若虫 11.250 头、

雌成虫 16.030 头、雄成虫 10.620 头，接近猎物密度为 40 头/皿时的实际日捕食量，但小于通过 Holling Ⅱ捕食功能反应模型得到的日最大捕食量。这与东亚小花蝽捕食美洲棘蓟马 *Echinothrips americanus*（朱亮等，2015）和黄带犀猎蝽 *Sycanus bifidus* 捕食黏虫幼虫（陈苏怡等，2023）的结果相似。原因可能是因为 Holling Ⅱ模型建立在天敌始终处于高度饥饿和搜索状态、食欲无限、且对猎物的攻击率固定的前提下，而 Holling Ⅲ模型考虑到了天敌对猎物的攻击率随猎物密度的变化而改变，更符合天敌的实际捕食行为，因此 Holling Ⅲ模型拟合结果相对 Holling Ⅱ模型偏低，且更加符合实际捕食情况。通过拟合 Holling Ⅱ模型能够分析天敌对猎物的攻击率和处理时间，Holling Ⅲ模型能够分析天敌对猎物的最佳寻找密度，结合这两种模型的分析结果能更全面准确地描述天敌对猎物的捕食作用（陈文胜等，2004；刘爽等，2011；陈苏怡等，2023）。在本研究结果中，东亚小花蝽 5 龄若虫和雌、雄成虫对禾谷缢管蚜成虫的最佳寻找密度分别为 7.326、9.386 和 7.258 头/皿，结合搜寻效应结果推测，东亚小花蝽 5 龄若虫和雌、雄成虫对禾谷缢管蚜成虫的最佳益害比分别为 1∶7.326-10.197、1∶9.386-17.525 和 1∶7.258-9.116，此时东亚小花蝽对猎物的攻击效率相对较高，且搜寻效应在 50%以上。

除猎物密度外，天敌自身的种群密度也是影响其捕食效率的关键因素（孙婧婧等，2021；2022；陈苏怡等，2023）。在本研究结果中，当捕食空间和猎物密度固定时，随着天敌密度的增加，东亚小花蝽 5 龄若虫和雌、雄成虫间的相互干扰和资源竞争作用不断增强，导致不同发育阶段东亚小花蝽对禾谷缢管蚜成虫的平均捕食量显著降低。这与东亚小花蝽捕食草地贪夜蛾 1 龄幼虫（孙贝贝等，2020）、蠋蝽捕食黏虫 3 龄幼虫（孙婧婧等，2022）以及黄带犀猎蝽捕食黏虫 3 龄幼虫（陈苏怡等，2023）等捕食蝽的试验结果一致。因此，在实际应用东亚小花蝽防治禾谷缢管蚜时，不仅需要综合考量田间蚜虫的密度水平，同时必须重视天敌释放密度过高可能引发的种内干扰问题，可考虑采用多点、低密度、分批次释放的策略，避免盲目高密度释放天敌导致的资源浪费。

本研究在室内条件下，初步探究了东亚小花蝽 5 龄若虫和雌、雄成虫对禾谷缢管蚜成虫的捕食能力，明确了不同发育阶段东亚小花蝽均对禾谷缢管蚜具有较高的控害潜能。然而，田间环境复杂多样，作物种类和密度、环境温度和湿度、农药施用方式和时期、其他天敌和非靶标害虫等因素均会干扰天敌对害虫防控能力。因此，在实际应用东亚小花蝽防治禾谷缢管蚜时，还需进一步考虑作物布局和多样性、气候变化（如降雨、大风）、化学药剂等因素对天敌捕食能力、扩散能力和定殖能力的影响，制定最佳的天敌应用策略，完善天敌的应用技术，以推动重大农业害虫禾谷缢管蚜的绿色综合防控。

参考文献 (References)

Chen SY, Yang YJ, Shi AM, Sun JJ, Li H, Shi AX, Cai WZ, 2023. Predatory functional responses of assassin bug *Sycanus croceovittatus* to the third-instar larvae of oriental armyworm *Mythimna separata*. *Journal of Plant Protection*, 50(1): 111−118. [陈苏怡, 杨毅娟, 史爱民, 孙婧婧, 李虎, 石安宪, 彩万志, 2023. 黄带犀猎蝽对黏虫 3 龄幼虫的捕食功能反应. 植物保护学报, 50(1): 111−118.]

Chen WS, Cui ZX, Ren JJ, Wang YB, 2004. Functional responses of *Menochilus sexmaculatus* to peach aphid under different temperature. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 20(1): 69−70. [陈文胜, 崔志新, 任吉君, 王蕴波, 2004. 不同温度下六斑月瓢虫对桃蚜功能反应的研究. 农业系统科学与综合研究, 20(1): 69−70.]

Ding YQ, 1994. Mathematical Ecology of Insects. Beijing: Science Press. 257−258, 303−304. [丁岩钦, 1994. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社. 257−258, 303−304.]

Funao T, Yoshiyasu Y, 1995. Development and fecundity of *Orius sauteri* (Poppius) (Hemiptera: Anthocoridae) reared on *Aphis gossypii* Glover and corn pollen. *Journal of Applied Entomology and Zoology*, 39(1): 84−85.

Gong PP, Li XN, Gao HF, Wang C, Li MY, Zhang YH, Li XR, Liu EL, Zhu X, 2021. Field evolved resistance to pyrethroids, neonicotinoids, organophosphates and macrolides in *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus) and *Sitobion avenae* (Fabricius) from China. *Chemosphere*, 269: 128747.

Guo Y, Wang MQ, Li PY, Zheng Y, Deng HB, Li DS, 2025. The

predation of *Rhynocoris fuscipes* on cabbage worm *Pieris rapae*. *Plant Protection*, 51(3): 345−353. [郭义, 王孟卿, 李鹏燕, 郑苑, 邓海滨, 李敦松, 2025. 红彩瑞猎蝽对菜青虫的捕食作用. 植物保护, 51(3): 345−353.]

Han B, Wu MF, Pei YT, Wang HD, Liu WH, Wang XJ, Zhao WL, 2025. Monitoring of resistance of *Sitobion avenae* and *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera: Aphididae) to six insecticides and field efficacy evaluation of eleven insecticides against wheat aphids in the wheat growing area of northwestern Shandong Province, North China. *Acta Entomologica Sinica*, 68(10): 1351–1360. [韩冰, 武明飞, 裴艳婷, 王宏栋, 刘文海, 王湘峻, 赵文路, 2025. 鲁西北麦区麦长管蚜和禾谷缢管蚜对 6 种杀虫剂的抗性监测及 11 种杀虫剂对麦蚜的田间药效评价. 昆虫学报, 68(10): 1351–1360.]

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

Hu L, Xie FQ, Xiang JY, Cao H, 2009. Analysis of transmission capabilities of barley yellow dwarf virus (BYDV) by *Schizaphis graminum* and *Rhopalosiphum padi* in Northwest China. *Journal of Triticeae Crops*, 29(4): 721−724. [胡亮, 谢芳芹, 相建业, 曹海, 2009. 中国西北地区麦二叉蚜与禾谷缢管蚜对小麦黄矮病传毒能力的分析. 麦类作物学报, 29(4): 721−724.]

Huang YN, Wang YL, Wei J, Guo X, Li L, Wang K, Chen MH, 2019. Insecticide resistance monitoring of *Rhopalosiphum padi* to seven insecticides from wheat fields of Guanzhong area in Shaanxi Province. *Plant Protection*, 45(3): 211−214. [黄彦娜, 王雅丽, 魏静, 郭鑫, 李兰, 王康, 陈茂华, 2019. 陕西关中地区小麦田禾谷缢管蚜对 7 种杀虫剂的抗性监测. 植物保护, 45(3): 211−214.]

Liu CJ, 2013. Identification and control of *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus). *Journal of Agricultural Catastrophology*, 3(4): 1−4. [刘成江, 2013. 小麦害虫禾谷缢管蚜的鉴别与防治. 农业灾害研究, 3(4): 1−4.]

Liu L, Wang SJ, Zuo JF, Zhang XH, Peng X, Wang K, Chen MH, 2023. Characterization and fitness cost of bifenthrin resistance in *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*, 116(5): 1795−1803.

Liu XY, Yang HL, Zhang J, Li CJ, Yu XW, Feng WL, Yu JM, Deng Q, Li MY, Liu S, 2024. Predation function of *Orius sauteri* on nymphs of *Bemisia tabaci*. *Tobacco Science & Technology*, 57(9): 59−64. [刘心怡, 杨浩岚, 张今, 李成军, 余祥文, 冯文龙, 余佳敏, 邓全, 李茂业, 刘苏, 2024. 东亚小花蝽对烟粉虱若虫的捕食功能评价. 烟草科技, 57(9): 59−64.]

Liu S, Wang S, Liu BM, Zhou CQ, Zhang F, 2011. The predation function response and predatory behavior observation of *Chrysopa pallens* larva to *Bemisia tabaci*. *Scientia Agricultura Sinica*, 44(6): 1136−1145. [刘爽, 王甦, 刘佰明, 周长青, 张帆, 2011. 大草蛉幼虫对烟粉虱的捕食功能反应及捕食行为观察. 中国农业科学, 44(6): 1136−1145.]

Lu YH, Gao XW, 2016. Inhibiting effects of common insecticides on carboxylesterase activity in *Sitobion avenae* and *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera: Aphididae) and their synergism to beta-cypermethrin. *Acta Entomologica Sinica*, 59(11): 1151−1158. [鲁艳辉, 高希武, 2016. 常用杀虫剂对麦长管蚜和禾谷缢管蚜羧酸酯酶活性的抑制及对高效氯氰菊酯的增效作用. 昆虫学报, 59(11): 1151−1158.]

Luo K, Yao XJ, Luo C, Hu XS, Wang CP, Wang Y, Hu ZQ, Zhang GS, Zhao HY, 2019. Biological and morphological features associated with English grain aphid and bird cherry-oat aphid tolerance in winter wheat line XN98-10-35. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38(1): 46−54.

Peng X, Wang SJ, Huang L, Su S, Chen MH, 2021. Characterization of *Rhopalosiphum padi* takeout-like genes and their role in insecticide susceptibility. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 171: 104725.

Ren XH, Zhao QJ, Chen SW, Cui JD, Liu HB, Wei KN, Guo NN, Gao YF, 2019. Predation function and interference response study of *Orius sauteri* against *Uroleucon gobonis*. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 25(23): 77−78, 92. [任向辉, 赵庆杰, 陈世伟, 崔金冬, 刘号彬, 魏康宁, 郭楠楠, 高怡帆, 2019. 东亚小花蝽对红花指管蚜的捕食功能反应与干扰反应研究. 安徽农学通报, 25(23): 77−78, 92.]

Sadeghi E, Dedryver CA, Gauthier JP, 1997. Role of acquisition and inoculation time in the expression of clonal variation for BYDV-PAV transmission in the aphid species *Rhopalosiphum padi*. *Plant Pathology*, 46(4): 502−508.

Schröder ML, Glinwood R, Ignell R, Krüger K, 2015. Landing preference and reproduction of *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera: Aphididae) in the laboratory on three maize, potato, and wheat cultivars. *Journal of Insect Science*, 15(1): 63.

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. [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 JJ, Wang MQ, Tang YT, Li XY, Zhang LS, Li H, 2021. Predatory functional response of *Arma custos* (Hemiptera: Pentatomidae) to the larvae of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Plant Protection*, 48(5): 1081−1087. [孙

婧婧, 王孟卿, 唐艺婷, 李心钰, 张礼生, 李虎, 2021. 蝎蝽对棉铃虫幼虫的捕食功能反应. 植物保护学报, 48(5): 1081−1087.]

Sun JJ, Wang MQ, Zhang LS, Cai WZ, Li H, 2022. Predation of *Mythimna separata* larvae by *Arma custos* at different stages. *Plant Protection*, 48(4): 143−149, 195. [孙婧婧, 王孟卿, 张礼生, 彩万志, 李虎, 2022. 不同龄期蝎蝽对黏虫幼虫的捕食作用. 植物保护, 48(4): 143−149, 195.]

van Lenteren JC, Roskam MM, Timmer R, 1997. Commercial mass production and pricing of organisms for biological control of pests in Europe. *Biological Control*, 2(10): 143−149.

Wang FH, Zhou WR, Wang R, 1998. The biological observation and rearing method of *Orius sauteri* (Hemiptera: Anthocoridae). *Natural Enemies of Insects*, 20(1): 42−44. [王方海, 周伟儒, 王韧, 1998. 东亚小花蝽的生物学及其人工繁殖. 昆虫天敌, 20(1): 42−44.]

Wang RJ, Dai XY, Liu Y, Chen H, Su L, Zhang F, Li HM, Xu QQ, Zheng L, Zhai YF, 2023. Predatory capability of *Orius sauteri* adults on eggs of tomato leaf miner (*Tuta absoluta*). *Shandong Agricultural Sciences*, 55(11): 35−39. [王瑞娟, 代晓彦, 刘艳, 陈浩, 苏龙, 张峰, 李红梅, 徐倩倩, 郑礼, 翟一凡, 2023. 东亚小花蝽成虫对番茄潜叶蛾卵的捕食能力. 山东农业科学, 55(11): 35−39.]

Wang SZ, Xia CG, 1988. New model of Holling-Ⅲ functional response. *Journal of Ecology*, 7(1): 1−3, 44. [汪世泽, 夏楚贵, 1988. Holling-Ⅲ型功能反应新模型. 生态学杂志, 7(1): 1−3, 44.]

Watt KEF, 1959. A mathematical model for the effect of densities of attacked and attacking species on the number attacked. *The Canadian Entomologist*, 91(3): 129−144.

Wei XP, Qu MJ, Chen Y, Ju Q, Li W, 2024. Control of the peanut aphid (*Aphis craccivora*) by *Orius sauteri* in peanut-maize strip intercropped fields. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 61(1): 120−128. [韦夕平, 曲明静, 陈瑶, 鞠倩, 李伟, 2024. 花生-玉米间作田东亚小花蝽对花生蚜的控制作用. 应用昆虫学报, 61(1): 120−128.]

Wu YQ, Zhao MQ, Yang SF, Duan Y, Jiang YL, 2010. Predation of *Orius sauteri* (Hemiptera: Anthocoridae) on four insect pests. *Chinese Journal of Biological Control*, 26(1): 13−17. [武予清, 赵明茜, 杨淑斐, 段云, 蒋月丽, 2010. 东亚小花蝽对四种害虫的捕食作用. 中国生物防治学报, 26(1):13−17.]

Yang HL, Li CJ, Cao F, Sun YL, Li MY, Liu S, Li SG, 2023. Evaluation of predatory function of *Orius sauteri* to the first-instar larvae of *Mythimna separata* (Walker). *Journal of Zhejiang University* (*Agriculture & Life Sciences*), 49(2): 159−166. [杨浩岚, 李成军, 曹付, 孙与伦, 李茂业, 刘苏, 李世广, 2023. 东亚小花蝽对东方黏虫 1 龄幼虫的捕食功能评价. 浙江大学学报（农业与生命科学版）, 49(2): 159−166.]

Yu JY, Wang ZH, Mao RP, Pei ZX, Deng MS, Dong LK, 2025. Predation ability of *Orius sauteri* to *Aulacophoroides hoffmanni*. *South China Forestry Science*, 53(3): 73−77. [于静亚, 王志华, 毛润萍, 裴张新, 邓明山, 董立坤, 2025. 东亚小花蝽对紫藤蚜的捕食功能反应. 南方林业科学, 53(3): 73−77.]

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. [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 SQ, Zhang YY, Gao P, Zhou YR, Peng X, Wang K, Chen MH, 2025. Resistance monitoring of the field populations of *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera: Aphididae) from the Guanzhong Region of Shaanxi Province to pyrethroid insecticides and detection of the M918L mutation in the voltage- gated sodium channel gene. *Acta Entomologica Sinica*, 68(10): 1339–1350. [张思茜, 张愉英, 高平, 周玉荣, 彭雄, 王康, 陈茂华, 2025. 陕西关中禾谷缢管蚜田间种群对拟除虫菊酯杀虫剂的抗性监测及钠通道 M918L 突变检测. 昆虫学报, 68(10): 1339–1350.]

Zhou WR, Wang R, 1989. Rearing of *Orius sauteri* (Hem.: Anthocoridae) with natural and artificial diets. *Chinese Journal of Biological Control*, 5(1): 9−12. [周伟儒, 王韧, 1989. 用天然和人工饲料饲养小花蝽的研究. 生物防治通报, 5(1): 9−12.]

Zhu L, Ge ZT, Gong YJ, Shi BC, Wang S, Wei SJ, 2015. Effects of temperature on predation of the thrips *Echinothrips americanus* (Thysanoptera: Thripidae) by the predatory bug *Orius sauteri* (Heteroptera: Anthocoridae). *Journal of Plant Protection*, 42(2): 229−236. [朱亮, 葛振泰, 宫亚军, 石宝才, 王甦, 魏书军, 2015. 温度对东亚小花蝽捕食美洲棘蓟马的影响. 植物保护学报, 42(2): 229−236.]

Zhu ZY, Di N, Zhang F, Xu ZG, Wang S, 2022. Research progress and prospect of minute pirate bug *Orius sauteri*. *Journal of Plant Protection*, 49(6): 1551−1564. [朱正阳, 邸宁, 张帆, 徐志刚, 王甦, 2022. 天敌昆虫东亚小花蝽研究进展与展望. 植物保护学报, 49(6): 1551−1564.]