多异瓢虫与蠋蝽成虫对甜菜夜蛾的捕食功能反应

胡芳真[1] 娜迪热·艾则孜[1] 邓 梅[2] 王顺利[2] 俞金燕[2] 黎春慧[1]
帕提玛·乌木尔汗[1*] 马德英[1*]

（1. 新疆农业大学农学院，乌鲁木齐 830000；2. 乌鲁木齐米东区农业农村局，乌鲁木齐 830000）

摘要：为明确多异瓢虫 *Hippodamia variegata* 或蠋蝽 *Arma custos* 成虫对甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 卵和低龄幼虫的捕食潜能以及捕食功能差异，将单头饥饿处理24 h的多异瓢虫或蠋蝽成虫分别与不同密度卵期和1~3龄期甜菜夜蛾进行组合，24 h后统计多异瓢虫或蠋蝽成虫的捕食量，并基于logistic逻辑回归分析结果、捕食功能反应和搜寻效应分析两者的捕食能力。结果显示：多异瓢虫成虫对甜菜夜蛾卵及2龄幼虫、蠋蝽成虫对甜菜夜蛾1~3龄幼虫的捕食功能反应均属于Holling II型，理论日最大捕食量分别为71.430粒和45.450、47.600、21.820、23.380头；多异瓢虫成虫对甜菜夜蛾1龄幼虫、蠋蝽成虫对甜菜夜蛾卵的捕食功能反应属于Holling III型，理论日最大捕食量为73.870头和69.680粒。多异瓢虫成虫对甜菜夜蛾卵及2龄幼虫、蠋蝽成虫对甜菜夜蛾1~3龄幼虫的搜寻效应均随猎物密度的上升而显著降低，呈现明显的负密度依赖性；蠋蝽成虫表现出更广的捕食范围，可捕食甜菜夜蛾1~3龄幼虫；在试验密度范围内，多异瓢虫对甜菜夜蛾2龄幼虫的捕食效率显著高于蠋蝽对甜菜夜蛾2、3龄幼虫的捕食效率。表明多异瓢虫或蠋蝽成虫对甜菜夜蛾卵和低龄幼虫具有捕食潜能且捕食功能存在一定差异。

关键词：多异瓢虫；蠋蝽；甜菜夜蛾；生物防治；捕食功能

Predatory functional responses of variegated ladybird *Hippodamia variegata* and predatory stink bug *Arma custos* adults to beet armyworm *Spodoptera exigua*

Hu Fangzhen[1] Aizezi Nadire[1] Deng Mei[2] Wang Shunli[2] Yu Jinyan[2] Li Chunhui[1]
Wumuerhan Patima[1*] Ma Deying[1*]

（1. College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China;
2. Agriculture and Rural Bureau of Midong District, Urumqi 830000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China）

Abstract: To clarify the predation potential and functional differences of adults of the multicolored ladybird beetle *Hippodamia variegata* and the predatory stink bug *Arma custos* against the eggs and early-instar larvae of the beet armyworm *Spodoptera exigua*, individual predators, starved for 24 h were exposed to varying densities of *S. exigua* eggs or 1st−3rd instar larvae. After 24 h, the number of prey consumed was recorded. Predatory capacity was evaluated using logistic regression, functional response models, and searching response efficiency analyses. The results demonstrated that adult *H. variegata* exhibited Holling type II functional responses to *S. exigua* eggs and 2nd-instar larvae, whereas adult *A. custos* displayed type II responses to 1st−3rd instar larvae. Their theoretical maximum daily consumptions were 71.430 eggs and 45.450 larvae for *H. variegata*, and 47.600, 21.820, and 23.380 larvae for *A. custos* (1st−3rd instars, respectively). In contrast, the functional response of adult *H. variegata* to

基金项目：乌鲁木齐国家农业科技园现代农业产业技术体系人才团队建设项目（2025NYCYRC）
* 通信作者（Authors for correspondence），E-mail：patima530@126.com，mdyxnd@163.com
收稿日期：2025-05-26

1st-instar larvae and that of *A. custos* to *S. exigua* eggs followed Holling III, with theoretical maximum daily consumptions of 73.870 and 69.680 prey items, respectively. The searching efficiency of consumptions significantly with increasing prey density, indicating clear negative density dependence. *Arma custos* adults exhibited a broader prey-instar range (1st−3rd instars), while within the tested density range, *H. variegata* showed significantly higher predation efficiency on 2nd-instar larvae than *A. custos* did on 2nd−3rd instars. These findings indicate that both *H. variegata* and *A. custos* adults possess strong predation potential against *S. exigua* eggs and early-instar larvae, though their predatory functional responses differ.

Key words: *Hippodamia variegata*; *Arma custos*; *Spodoptera exigua*; biological control; functional response

甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 属于鳞翅目夜蛾科，是一种世界性农业害虫。该虫具有取食范围广、食性杂、繁殖快、3龄后暴食等特点，可导致作物产量减少并造成较重的经济损失（江幸福和罗礼智，2010；Hafeez et al.，2022；郭文丽等，2024）。作物生产中甜菜夜蛾最直接的防治手段往往是使用化学药剂，但是甜菜夜蛾对常用的虫螨腈、茚虫威、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐等多种杀虫剂已经产生了抗性（Ishtiaq et al.，2012；Che et al.，2013；左亚运，2019；Wang et al.，2021）。且过度使用药剂防治病虫害会造成土壤污染，严重威胁作物安全生产（宣然然，2024）。因此，生物防治作为一种绿色友好且可持续的防控措施受到越来越多的关注。

利用天敌昆虫来控制虫害是生物防治的常用方法（廖江花等，2024）。捕食性天敌是天敌昆虫的一个重要类群，其按口器类型可分为咀嚼式口器捕食者和刺吸式口器捕食者。瓢虫是咀嚼式口器捕食者的一个重要代表，已有研究表明异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 对甜菜夜蛾、草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*（吴钰薇等，2024）以及龟纹瓢虫 *Propylea japonica* 对番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta*（杨桂群等，2022）等鳞翅目1~2龄幼虫均有捕食行为。蝽类是刺吸式口器捕食者的一个重要代表，关于蝽类对鳞翅目低龄和高龄幼虫的捕食作用均有报道，东亚小花蝽 *Orius sauteri* 雌雄成虫和5龄若虫对东方黏虫 *Mythimna separata* 1龄幼虫均有捕食行为（杨浩岚等，2023）；益蝽 *Picromerus lewisi* 对番茄潜叶蛾2~4龄幼虫均有较好的捕食作用（杨韵等，2023）；黄带犀猎蝽 *Sycanus croceovittatus* 可捕食小菜蛾 *Plutella xylostella* 3、4龄幼虫（姚冰珂等，2025）。

多异瓢虫 *Hippodamia variegata* 是新疆维吾尔自治区（简称新疆）的优势天敌之一，具有发生早、数量大、食量大和食性广等特点，生物防治潜力巨大（姜岩等，2022），其对鳞翅目低龄幼虫的捕食潜能已经在草地贪夜蛾低龄幼虫上被证实（孔琳等，2019）。蠋蝽 *Arma custos* 在我国分布广泛，对草地贪夜蛾、小菜蛾、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 和亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 等鳞翅目幼虫具有一定的捕食能力（孙婧婧等，2022）。尽管这两种天敌对鳞翅目害虫的控害作用已有报道，但二者对甜菜夜蛾的控害潜能目前尚不清楚，并且未见直接对比两种天敌捕食差异的研究报道。本试验在室内相同试验条件下探究多异瓢虫或蠋蝽成虫对甜菜夜蛾卵和低龄幼虫的捕食功能反应，对比两种天敌的捕食差异，明确多异瓢虫或蠋蝽成虫对甜菜夜蛾卵和低龄幼虫的捕食潜能和捕食功能差异，以期为甜菜夜蛾的防控提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试昆虫和植物：多异瓢虫采集于和田地区策勒固拉合玛镇棉花田间，在实验室中用以室内种植的白菜 *Brassica rapa* var. *glabra* 为寄主的桃蚜 *Myzus persicae* 饲养多代后建立试验种群。蠋蝽3龄若虫购自河南科云生物有限公司，用实验室饲养的黄粉虫 *Tenebrio molitor* 饲养多代后建立试验种群。这两种天敌均取日龄相同的成虫供试。甜菜夜蛾卵和专用饲料购买于河南科云生物有限公司，用饲料和室内种植的生菜 *Lactuca sativa* 饲养并建立试验种群，分别取卵和1~3龄幼虫供试。白菜和生菜购自当地市场。

仪器：SMZ-161体式显微镜，麦克奥迪实业集团有限公司。

1.2 方法

1.2.1 两种天敌对甜菜夜蛾的捕食量测定

基于本研究预试验结果，多异瓢虫对甜菜夜蛾

3龄幼虫的捕食量极低，故本试验不再设置多异瓢虫对甜菜夜蛾3龄幼虫的捕食试验。将单头饥饿24 h的多异瓢虫成虫置于直径9 cm的培养皿中，分别接入不同密度梯度的甜菜夜蛾卵和幼虫，其中，卵的密度梯度为20、30、40、60、80头/皿，1龄幼虫的密度梯度为20、40、60、80头/皿，2龄幼虫的密度梯度为10、20、30、40、60头/皿。

将单头饥饿24 h的蠋蝽成虫置于直径9 cm的培养皿中，按照不同密度梯度接入甜菜夜蛾卵和幼虫，其中，卵和1龄幼虫的密度梯度均为20、40、60、80、100粒（头）/皿，2龄幼虫的密度梯度为10、20、30、40、60头/皿，3龄幼虫的密度梯度为5、10、15、20、30头/皿。

上述每个密度试验重复3次，每个重复为1皿。试验中甜菜夜蛾幼虫龄期参照章金明等（2021）方法确定，各培养皿中放入适量生菜叶供甜菜夜蛾取食。饲养24 h后统计各处理组中甜菜夜蛾的剩余数量，计算多异瓢虫和蠋蝽成虫的捕食量。

1.2.2 *两种天敌捕食功能反应类型的判断*

为确定多异瓢虫或蠋蝽成虫对甜菜夜蛾的捕食功能反应类型及相关参数，采用logistic逻辑回归分析，使用公式$\frac{N_a}{N_0}=\frac{\exp(P_0+P_1N_0+P_2N_0^2+P_3N_0^3)}{1+\exp(P_0+P_1N_0+P_2N_0^2+P_3N_0^3)}$进行拟合，其中$N_a$代表被捕食的甜菜夜蛾数量，$N_0$为甜菜夜蛾的初始密度，$P_0$、$P_1$、$P_2$、$P_3$分别为回归参数中的截距、线性系数、二次方系数和三次方系数。通过分析回归参数P_1和P_2的值来确定功能反应类型，若$P_1>0$且$P_2<0$，则判定为Holling III型功能反应；若$P_1<0$且$P_2>0$，则判定为Holling II型功能反应。

1.2.3 *两种天敌捕食功能反应的拟合*

Holling II型捕食功能反应方程为$N_a=\frac{aTN_0}{1+aT_hN_0}$，式中，$a$是多异瓢虫或蠋蝽成虫对甜菜夜蛾的瞬时攻击率，$T$是甜菜夜蛾与多异瓢虫或蠋蝽相互暴露的时间（本研究中T取1 d），T_h为多异瓢虫或蠋蝽成虫捕食1头甜菜夜蛾所用时间，a/T_h是多异瓢虫或蠋蝽成虫对甜菜夜蛾幼虫的捕食能力，$1/T_h$为多异瓢虫或蠋蝽成虫对甜菜夜蛾的理论日最大捕食量。Holling III型捕食功能反应方程为$N_a=b\times\exp(-cN_0^{-1})$，$b$为多异瓢虫或蠋蝽成虫对甜菜夜蛾的捕食上限，$c$为最佳寻找密度。

1.2.4 *两种天敌对甜菜夜蛾的搜寻反应*

鉴于1.2.3试验结果，多异瓢虫成虫对甜菜夜蛾1龄幼虫以及蠋蝽成虫对甜菜夜蛾卵的捕食功能反应属于Holling III型，因此仅分析多异瓢虫成虫对甜菜夜蛾卵、2龄幼虫以及蠋蝽成虫对甜菜夜蛾1~3龄幼虫的搜寻效应S，用方程$S=\frac{a}{1+aT_hN_0}$进行拟合。

1.3 数据分析

试验数据统计与整理均利用Excel 2021进行；数据分析与作图均利用GraphPad Prism 9.0.0进行。

2 结果与分析

2.1 两种天敌的捕食功能反应类型判断

多异瓢虫或蠋蝽成虫捕食甜菜夜蛾卵和幼虫的logistic逻辑回归结果如表1所示，其中，多异瓢虫成虫捕食甜菜夜蛾卵、2龄幼虫以及蠋蝽成虫捕食甜菜夜蛾1~3龄幼虫时，$P_1<0$且$P_2>0$，属于Holling II型捕食功能反应；多异瓢虫成虫捕食甜菜夜蛾1龄幼虫以及蠋蝽成虫捕食甜菜夜蛾卵时，$P_1>0$且$P_2<0$，属于Holling III型捕食功能反应。

2.2 两种天敌的捕食功能反应方程及曲线建立

两种天敌对甜菜夜蛾卵和1~3龄幼虫的日捕食量均随着猎物密度的升高而增加，当猎物密度达到一定数量时，两种天敌对各虫龄的捕食量逐渐平稳（图1）。由于多异瓢虫成虫对甜菜夜蛾1龄幼虫以及蠋蝽成虫对甜菜夜蛾卵的捕食功能反应属于Holling III型，故两者的处理时间、瞬时攻击率和控害效能不再作为评价指标。多异瓢虫成虫对甜菜夜蛾卵和2龄幼虫的处理时间分别为0.014 d和0.022 d；对甜菜夜蛾卵、1龄、2龄幼虫的理论日最大捕食量分别为71.430粒、73.870头和45.450头；对卵和2龄幼虫的瞬时攻击率分别为0.827和1.209；对卵和2龄幼虫的控害效能分别为59.100和54.950（表2）。蠋蝽成虫对甜菜夜蛾1~3龄幼虫的处理时间分别为0.021、0.046和0.043 d；对卵和1~3龄幼虫的理论日最大捕食量分别为69.680粒和47.600、21.820、23.380头；对1~3龄幼虫的瞬时攻击率为0.676、0.735和0.704；对1~3龄幼虫的控害效能分别为32.190、16.027和16.450（表2）。

对比两种天敌捕食甜菜夜蛾的各指标，在处理时间上，多异瓢虫成虫对甜菜夜蛾卵的处理时间最短，为0.014 d，蠋蝽成虫对甜菜夜蛾2龄幼虫的处理时间最长，为0.046 d；在瞬时攻击率上，多异瓢虫成虫对甜菜夜蛾2龄幼虫的瞬时攻击率最大，为1.209，蠋蝽成虫对甜菜夜蛾1龄幼虫的瞬时攻击率最小，为0.676；在控害效能上，多异瓢虫成虫对甜菜夜蛾卵的控害效能最高，为59.100，其次为对甜

菜夜蛾2龄幼虫的控害效能(54.950),蠋蝽成虫对甜菜夜蛾2龄幼虫的控害效能最低(16.027);在理论日最大捕食量上,多异瓢虫成虫对甜菜夜蛾1龄幼虫的理论日最大捕食量最高,达73.870头,蠋蝽成虫对甜菜夜蛾2龄幼虫的理论日最大捕食量最低,仅21.820头(表2)。

表1 多异瓢虫或蠋蝽成虫捕食甜菜夜蛾卵和幼虫的逻辑回归分析

Table 1 Logistic regression analysis of predation by *Hippodamia variegata* and *Arma custos* adults on eggs and larvae of *Spodoptera exigua*

捕食者 Predator	猎物发育阶段 Prey developmental stage	回归系数 Regression coefficient	系数值 Coefficient value	标准误差 Standard error	功能反应类型 Type of functional response
多异瓢虫 *H. variegata*	卵 Egg	P_1	−0.393	0.066	Holling II
		P_2	0.008		
	1龄 1st instar	P_1	0.590	0.081	Holling III
		P_2	−0.012		
	2龄 2nd instar	P_1	−0.160	0.063	Holling II
		P_2	0.004		
蠋蝽 *A. custos*	卵 Egg	P_1	0.237	0.059	Holling II
		P_2	−0.004		
	1龄 1st instar	P_1	−0.138	0.051	Holling II
		P_2	0.002		
	2龄 2nd instar	P_1	−0.223	0.070	Holling II
		P_2	0.005		
	3龄 3rd instar	P_1	−0.638	0.074	Holling II
		P_2	0.034		

P_1、P_2分别为初始猎物数量的线性系数、二次方系数。P_1 and P_2 represent the linear coefficient and quadratic coefficients, respectively, of the initial prey density.

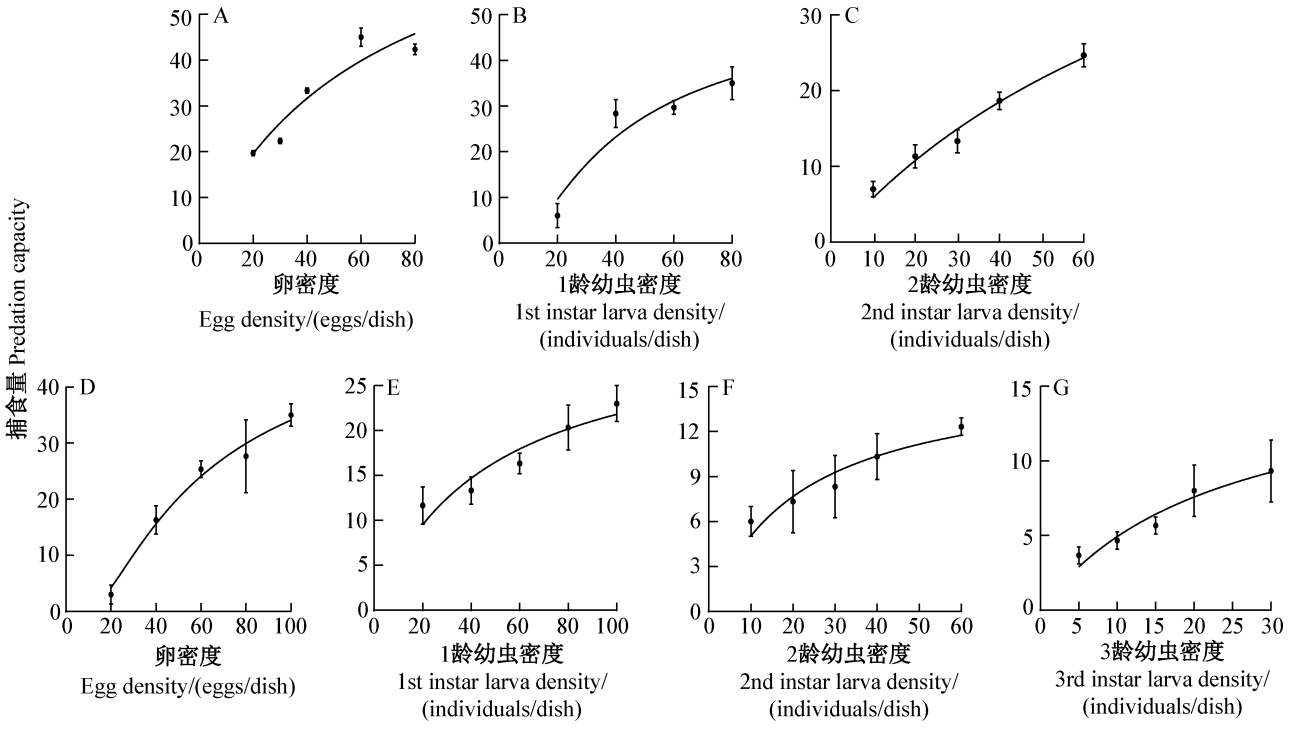

图1 多异瓢虫(A~C)或蠋蝽(D~G)成虫对甜菜夜蛾卵和幼虫的捕食功能曲线

Fig. 1 Functional response curves of adults *Hippodamia variegata* (A−C) and *Arma custos* (D−G) to eggs and larvae of *Spodoptera exigua*

表2 多异瓢虫或蠋蝽成虫对甜菜夜蛾卵和幼虫的捕食功能反应方程及参数

Table 2 Functional response equations and parameters of adults *Hippodamia variegata* and *Arma custos* to eggs and larvae of *Spodoptera exigua*

捕食者 Predator	猎物发育阶段 Prey developmental stage	捕食功能反应方程 Functional response equation	处理时间 Handling time/d	理论日最大捕食量 Theoretical daily maximum predation	瞬时攻击率 Instantaneous attack rate	控害效能 Pest control efficiency
多异瓢虫 *H. variegata*	卵 Egg	$N_a = \frac{0.827N_0}{1 + 0.012N_0}$	0.014±0.004	71.430	0.827±0.170	59.100
	1龄 1st instar	$N_a = e^{4.303} \times \exp(-50.130N_0^{-1})$	–	73.870	–	–
	2龄 2nd instar	$N_a = \frac{1.209N_0}{1 + 0.027N_0}$	0.022±0.003	45.450	1.209±0.063	54.950
蠋蝽 *A. custos*	卵 Egg	$N_a = e^{4.246} \times \exp(-65.110N_0^{-1})$	–	69.680	–	–
	1龄 1st instar	$N_a = \frac{0.676N_0}{1 + 0.014N_0}$	0.021±0.001	47.600	0.676±0.132	32.190
	2龄 2nd instar	$N_a = \frac{0.735N_0}{1 + 0.034N_0}$	0.046±0.003	21.820	0.735±0.176	16.027
	3龄 3rd instar	$N_a = \frac{0.704N_0}{1 + 0.030N_0}$	0.043±0.003	23.380	0.704±0.157	16.450

表中数据为平均数±标准误。N_a和N_0分别代表被捕食的甜菜夜蛾数量和甜菜夜蛾的初始密度。Data in the table are mean±SE. N_a and N_0 indicate the number of *S. exigua* individuals consumed and the initial prey density, respectively.

2.3 多异瓢虫或蠋蝽对甜菜夜蛾卵和幼虫的搜寻效应

两种天敌对甜菜夜蛾的搜寻效应均与猎物密度呈负相关，随着甜菜夜蛾卵或幼虫密度的增加，天敌的搜寻效应呈现下降趋势。当甜菜夜蛾卵的密度由20头/皿增加到80头/皿时，多异瓢虫成虫对其的搜寻效应由0.672下降到0.429；当2龄幼虫密度由20头/皿增加到60头/皿时，多异瓢虫成虫对其的搜寻效应由0.954下降到0.466（图2-A~B）。当甜菜夜蛾1龄幼虫的密度由20头/皿增加到100头/皿时，蠋蝽成虫对其的搜寻效应由0.527下降到0.279；当2龄幼虫密度由10头/皿增加到60头/皿时，蠋蝽成虫对其的搜寻效应由0.550下降到0.243；当3龄幼虫密度由5头/皿增加到30头/皿时，蠋蝽成虫对其的搜寻效应从0.612降至0.370（图2-C~E）。

蠋蝽成虫对甜菜夜蛾2龄幼虫的搜寻效应在更低的初始密度（10头/皿）时就低于多异瓢虫成虫的搜寻效应（0.954），当2龄幼虫密度升至60头/皿时，蠋蝽成虫的搜寻效应（0.243）仍低于多异瓢虫成虫的搜寻效应（0.466）（图2），说明多异瓢虫成虫对甜菜夜蛾2龄幼虫的捕食效率始终高于蠋蝽成虫。蠋蝽成虫虽能捕食甜菜夜蛾3龄幼虫，但其对3龄幼虫的最高搜寻效应（0.612）仍低于多异瓢虫成虫对甜菜夜蛾2龄幼虫的初始搜寻效应（0.954）（图2），这说明当猎物密度在一定范围内时，多异瓢虫成虫对甜菜夜蛾2龄幼虫的捕食效率优于蠋蝽成虫对甜菜夜蛾3龄幼虫的捕食效率。

3 讨论

捕食功能反应试验是探究捕食者捕食能力的重要方法，其结果是评价天敌昆虫控害能力的重要参考。本试验结果表明，多异瓢虫成虫对甜菜夜蛾卵和2龄幼虫的捕食功能反应均属于Holling II型，对甜菜夜蛾1龄幼虫的捕食功能反应属于Holling III型，这与孔琳（2020）研究发现多异瓢虫成虫对草地贪夜蛾卵和1、2龄幼虫的捕食功能反应均属于Holling II型的结论不相符，且多异瓢虫成虫对甜菜夜蛾卵和1、2龄幼虫的理论日最大捕食量均少于对草地贪夜蛾相同龄期的理论日最大捕食量（123.716粒、210.393头和62.189头）。推测多异瓢虫成虫对甜菜夜蛾的偏好性低于草地贪夜蛾，同时卵是静态的，而2龄幼虫易被发现，但是1龄幼虫在低密度情况下不易被发现，导致多异瓢虫的搜寻积极性较低，故而捕食率较低，随着1龄幼虫密度的增加，幼虫暴露的比例增加，故而被捕食率上升，鉴于多异瓢虫成虫捕食能力的限制，甜菜夜蛾的被捕食率会逐渐趋于平稳，因此捕食功能曲线呈现为Holling III型，具体原因还需要研究验证。

蠋蝽成虫对甜菜夜蛾1~3龄幼虫的捕食功能反应均属于Holling II型，这与东亚小花蝽对东方黏虫1龄幼虫（杨浩岚等，2023）、益蝽成虫对草地贪夜蛾3龄幼虫（王燕等，2019）、益蝽对东方黏虫3龄幼虫（唐艺婷等，2018）、蠋蝽成虫对棉铃虫 *Helicoverpa*

armigera 2、3龄幼虫(孙婧婧等,2021;陈俊华等,2025)的捕食功能反应均是Holling II型的结论一致。本研究结果表明,蠋蝽成虫对甜菜夜蛾卵的捕食功能反应属于Holling III型,这与蠋蝽对草地贪夜蛾卵(陈彬等,2025)和烟草害虫卵(杨灿等,2022)的捕食功能反应属于Holling II型的结论不符。推测是由于甜菜夜蛾的卵较草地贪夜蛾、斜纹夜蛾、烟青虫*Helicoverpa assulta*的卵小,不易被发现,而且低密度下卵散发出的信息素较少,不易被蠋蝽成虫定位,随着卵密度的增加其被定位的可能性增加,故而被捕食率上升,但由于蠋蝽成虫捕食能力的限制,甜菜夜蛾的被捕食率会逐渐趋于平稳,故而捕食功能曲线呈现为Holling III型,具体原因尚需研究验证。

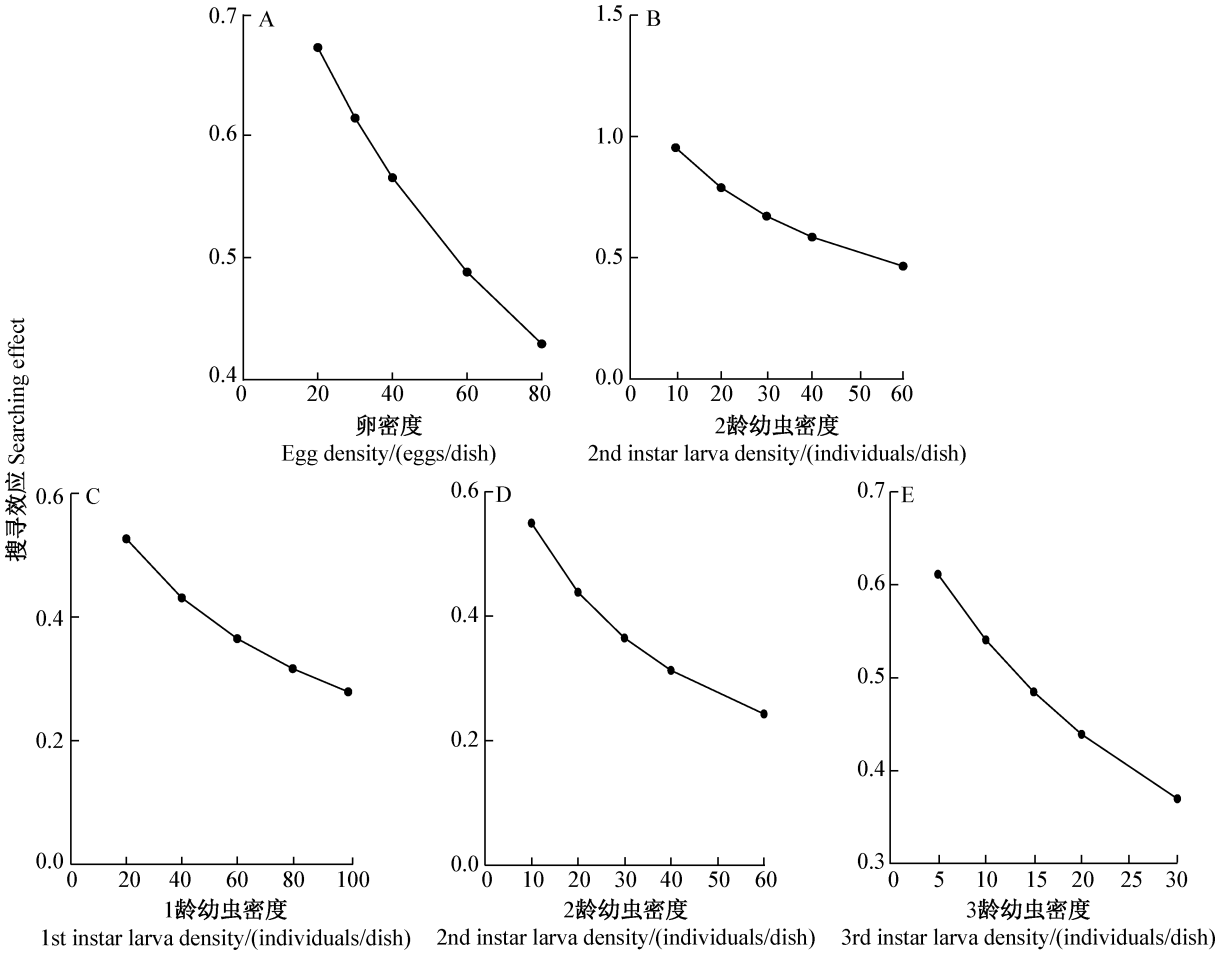

图2 多异瓢虫(A~B)或蠋蝽(C~E)成虫对甜菜夜蛾卵和幼虫的搜寻效应

Fig. 2 Searching efficiency of adults *Hippodamia variegata* (A−B) and *Arma custos* (C−E) on eggs and larvae of *Spodoptera exigua*

在捕食功能反应中,捕食量、瞬时攻击率以及控害效能均可以反应捕食者的捕食能力。本研究结果显示,多异瓢虫成虫对甜菜夜蛾卵的处理时间最短(0.014 d)、控害效能最高(59.100),对2龄幼虫的瞬时攻击率(1.209)明显高于蠋蝽成虫对甜菜夜蛾幼虫的瞬时攻击率(0.676~0.735),说明多异瓢虫成虫对甜菜夜蛾卵和2龄幼虫的捕获速度与处理效率较蠋蝽成虫更具优势。相比之下,蠋蝽成虫的处理时间普遍更长,尤其是对甜菜夜蛾2龄幼虫的处理时间达0.046 d,且控害效能也较低(16.027~32.190),但对3龄幼虫仍保持一定的捕食能力(理论日最大捕食量为23.380头),而多异瓢虫成虫对甜菜夜蛾3龄幼虫的捕食能力较低。多异瓢虫成虫的理论日最大捕食量在捕食甜菜夜蛾1龄幼虫(73.870头)和卵(71.430粒)时最高,而蠋蝽成虫的理论日最大捕食量则在捕食卵(69.680粒)和1龄幼虫(47.600头)时最高,但仍整体低于多异瓢虫成虫的理论日最大捕食量;同时,蠋蝽成虫对甜菜夜蛾2、3龄幼虫的理论日最大捕食量(21.820~23.380头)虽然较低,但覆盖了多异瓢虫较少捕食的龄期。

本研究结果表明,随着甜菜夜蛾密度的增加,多异瓢虫或蠋蝽成虫对其的搜寻效应逐渐下降,这与

吴钰薇等(2024)研究中异色瓢虫对甜菜夜蛾的搜寻效应和姚冰珂等(2025)研究中黄带犀猎蝽对小菜蛾的搜寻效应的变化趋势一致，说明多异瓢虫或蠋蝽成虫对甜菜夜蛾的捕食与猎物密度有关，即在一定密度范围内，随着猎物密度的增加，天敌的搜寻效应系数降低，表明猎物个体的相对被捕食率降低。在初始密度下，多异瓢虫成虫对甜菜夜蛾卵和2龄幼虫的搜寻效应(0.672~0.954)明显高于蠋蝽成虫对对应及更高龄虫态的搜寻效应(0.527~0.612)，且搜寻效应随猎物密度下降的幅度更平缓，说明多异瓢虫成虫在低-中猎物密度下对早期虫态的控制更稳定；而蠋蝽成虫对甜菜夜蛾3龄幼虫的搜寻效应虽较低，但仍能保持一定响应，显示其对甜菜夜蛾3龄幼虫具有一定的搜寻能力。

综上所述，多异瓢虫或蠋蝽成虫对甜菜夜蛾卵和低龄幼虫具有捕食潜能且捕食功能具有一定差异，但本试验在培养皿内开展，环境相对稳定，且仅研究了多异瓢虫或蠋蝽成虫对甜菜夜蛾的捕食功能，未充分考虑田间环境和其他害虫、天敌存在的影响，也未细致观测天敌捕食行为的细节，因此，利用多异瓢虫和蠋蝽对甜菜夜蛾进行控害还需要进一步开展田间捕食潜能研究。

参 考 文 献（References）

Che WN, Shi T, Wu YD, Yang YH. 2013. Insecticide resistance status of field populations of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) from China. Journal of Economic Entomology, 106(4): 1855−1862

Chen B, Chen WB, Xue CZ, Li YY, Shen ZJ, Wang MQ, Mao JJ, Dong H, Zhang LS. 2025. Predation capacity of developmental stage *Arma chinensis* to *Spodoptera frugiperda* eggs. Chinese Journal of Biological Control, 41(1): 24−31 (in Chinese) [陈彬, 陈万斌, 薛传振, 李玉艳, 申忠健, 王孟卿, 毛建军, 董辉, 张礼生. 2025. 蠋蝽对草地贪夜蛾卵的捕食能力评价. 中国生物防治学报, 41(1): 24−31]

Chen JH, Li FF, Du YQ, Xie JX, Zhang QQ, Wang CX, Guo SB. 2025. Predation ability and preference of *Arma chinensis* against *Helicoverpa armigera* larvae. Journal of Henan Agricultural Sciences, 54(1): 109−118 (in Chinese) [陈俊华, 李非凡, 杜跃卿, 谢佳鑫, 张俏俏, 王晨旭, 郭世保. 2025. 蠋蝽对棉铃虫幼虫的捕食能力及捕食偏好. 河南农业科学, 54(1): 109−118]

Guo WL, Yang H, Duan MM, Xu H, Zhao WT, Wang CJ. 2024. Sublethal effects of tolfenpyrad and its impact on detoxifying enzymes to *Spodoptera exigua*. Plant Protection, 50(4): 168−175 (in Chinese) [郭文丽, 杨慧, 段慢慢, 徐昊, 赵文甜, 王成菊. 2024. 唑虫酰胺对甜菜夜蛾亚致死效应及解毒酶活性的影响. 植物保护, 50(4): 168−175]

Hafeez M, Ullah F, Khan MM, Li XW, Zhang ZJ, Shah S, Imran M, Assiri MA, Fernández-Grandon GM, Desneux N, et al. 2022. Metabolic-based insecticide resistance mechanism and eco-friendly approaches for controlling of beet armyworm *Spodoptera exigua*: a review. Environmental Science and Pollution Research, 29(2): 1746−1762

Ishtiaq M, Saleem MA, Razaq M. 2012. Monitoring of resistance in *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) from four districts of the southern Punjab, Pakistan to four conventional and six new chemistry insecticides. Crop Protection, 33: 13−20

Jiang XF, Luo LZ. 2010. Outbreak characteristic and management of *Spodoptera exigua* in China. Journal of Changjiang Vegetables, (18): 93−95 (in Chinese) [江幸福, 罗礼智. 2010. 我国甜菜夜蛾发生为害特点及治理措施. 长江蔬菜, (18): 93−95]

Jiang Y, Xiu CL, Wang DM, Ding RF, Li HB, Pan HS, Liu XN. 2022. Effects of six aphid species on the development and reproduction of *Hippodamia variegata* (Goeze). Chinese Journal of Biological Control, 38(6): 1427−1434 (in Chinese) [姜岩, 修春丽, 王冬梅, 丁瑞丰, 李号宾, 潘洪生, 刘小宁. 2022. 六种蚜虫对多异瓢虫生长发育和繁殖的影响. 中国生物防治学报, 38(6): 1427−1434]

Kong L. 2020. Predation of four species ladybird beetles upon *Spodoptera frugiperda* eggs and larvae. Master thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences (in Chinese) [孔琳. 2020. 四种瓢虫对草地贪夜蛾卵和幼虫的捕食功能研究. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院]

Kong L, Li YY, Wang MQ, Liu CX, Mao JJ, Chen HY, Zhang LS. 2019. Predation of *Hippodamia variegata* and *Harmonia axyridis* to young larvae of *Spodoptera frugiperda*. Chinese Journal of Biological Control, 35(5): 709−714 (in Chinese) [孔琳, 李玉艳, 王孟卿, 刘晨曦, 毛建军, 陈红印, 张礼生. 2019. 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. 中国生物防治学报, 35(5): 709−714]

Liao JH, He HF, Zhang J. 2024. Study on the predatory functional response of *Arma chinensis* (Fallou) to *Henosepilachna vigintioctopunctata* (Fabricius). Journal of Biosafety, 33(2): 177−181 (in Chinese) [廖江花, 何浩锋, 张江. 2024. 蠋蝽对茄二十八星瓢虫的捕食功能反应. 生物安全学报, 33(2): 177−181]

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 (in Chinese) [孙婧婧, 王孟卿, 唐艺婷, 李心钰, 张礼生, 李虎. 2021. 蠋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 CH, Tang YT, Li XY, Zhang LS, Li H. 2022. Predation by stink bug *Arma custos* on larvae of the Asian corn borer *Ostrinia furnacalis*. Journal of Plant Protection, 49(4): 1187−1193 (in Chinese) [孙婧婧, 王孟卿, 张长华, 唐艺婷, 李心钰, 张礼生, 李虎. 2022. 蠋蝽对亚洲玉米螟幼虫的捕食作用. 植物保护学报, 49(4): 1187−1193]

Tang YT, Guo Y, He GW, Liu CX, Chen HY, Zhang LS, Wang MQ. 2018. Functional responses of *Picromerus lewisi* Scott (Hemiptera: Pentatomidae) attacking *Mythimna separata* (Walker) (Lepi-

doptera: Noctuidae). Chinese Journal of Biological Control, 34(6): 825−830 (in Chinese) [唐艺婷, 郭义, 何国玮, 刘晨曦, 陈红印, 张礼生, 王孟卿. 2018. 不同龄期的益蝽对粘虫的捕食功能反应. 中国生物防治学报, 34(6): 825−830]

Wang P, Yang F, Wang Y, Zhou LL, Luo HB, Zhang S, Si SY. 2021. Monitoring the resistance of the beet armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to four insecticides in southern China from 2014 to 2018. Journal of Economic Entomology, 114(1): 332−338

Wang Y, Wang MQ, Zhang HM, Zhao XQ, Yin YQ, Li XY, Tang YT, Chen B, Chen FS, Zhang LS. 2019. Predation potential of adult of *Picromerus lewisi* (Fallou) on larvae of *Spodoptera frugiperda*. Chinese Journal of Biological Control, 35(5): 691−697 (in Chinese) [王燕, 王孟卿, 张红梅, 赵雪晴, 尹艳琼, 李向永, 唐艺婷, 陈斌, 陈福寿, 张礼生. 2019. 益蝽成虫对草地贪夜蛾不同龄期幼虫的捕食能力. 中国生物防治学报, 35(5): 691−697]

Wu YW, Zheng LH, Gao P, Zhu LH, Zhang GC, Li FW, Xia W, Xu WJ. 2024. The predation potential of *Harmonia axyridis* on *Spodoptera exigua* and *Spodoptera frugiperda*. Plant Protection, 50(5): 171−179 (in Chinese) [吴钰薇, 郑林浩, 高鹏, 朱立贺, 张国春, 李飞武, 夏蔚, 徐文静. 2024. 异色瓢虫对甜菜夜蛾和草地贪夜蛾的捕食潜能. 植物保护, 50(5): 171−179]

Xuan RR. 2024. Analysis of soil pollution status and prevention measures in China. Cotton Sciences, 46(4): 80−82 (in Chinese) [宣然然. 2024. 我国土壤污染状况及防治措施分析. 棉花科学, 46(4): 80−82]

Yang C, Mu YL, Wang J, Huang CY, Zhang CH, Yu HP, Chen XS. 2022. Predatory functional responses of *Arma chinensis* (Fallou) to the eggs and 3rd-instar larvae of two tobacco pests. Plant Protection, 48(1): 158−162, 172 (in Chinese) [杨灿, 母银林, 汪洁, 黄纯杨, 张长华, 喻会平, 陈祥盛. 2022. 蝽蝽成虫对两种烟草害虫卵及3龄幼虫的捕食功能反应. 植物保护, 48(1): 158−162, 172]

Yang GQ, Fan W, Zhang Q, Li M, Jiang ZX, Duan P, Hu CX, Chen GH, Zhang XM. 2022. Predatory function of *Harmonia axyridis* and *Propylea japonica* larvae to young larvae of *Tuta absoluta*. Chinese Journal of Biological Control, 38(4): 959−966 (in Chinese) [杨桂群, 范苇, 张倩, 李貌, 蒋正雄, 段盼, 胡昌雄, 陈国华, 张晓明. 2022. 异色瓢虫和龟纹瓢虫幼虫对番茄潜叶蛾低龄幼虫的捕食功能反应. 中国生物防治学报, 38(4): 959−966]

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 and Life Sciences), 49(2): 159−166 (in Chinese) [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]

Yang Y, Sun GL, Wang WQ, Chang LS, Xia ZY, Chen B. 2023. Behavior and predation of *Picromerus lewisi* to *Tuta absoluta*. Journal of Environmental Entomology, 45(1): 179−188 (in Chinese) [杨韵, 孙淦琳, 王文倩, 常吕恕, 夏振远, 陈斌. 2023. 益蝽对番茄潜叶蛾的捕食行为及捕食能力研究. 环境昆虫学报, 45(1): 179−188]

Yao BK, Du JY, Gao LP, Cao F, Li Y, Wang SH, Wang XP. 2025. Study of the predation of *Plutella xylostella* by *Sycanus bifidus*. Journal of Biosafety, 34(1): 81−85, 102 (in Chinese) [姚冰珂, 杜嘉宜, 高莉萍, 曹飞, 黎叶, 王圣红, 王香萍. 2025. 黄带犀猎蝽对小菜蛾的捕食作用. 生物安全学报, 34(1): 81−85, 102]

Zhang JM, Zhou SX, Lin Y, Liu M, Wang LK, Lü YB. 2021. Determination of larval instars of *Spodoptera exigua* (Hübner). Acta Agriculturae Zhejiangensis, 33(6): 1035−1041 (in Chinese) [章金明, 周书行, 林雅, 刘敏, 王丽坤, 吕要斌. 2021. 甜菜夜蛾幼虫龄数和龄期的测定. 浙江农业学报, 33(6): 1035−1041]

Zuo YY. 2019. Resistance mechanisms to emamectin benzoate and diamide insecticides in *Spodoptera exigua* (Hübner). PhD thesis. Nanjing: Nanjing Agricultural University (in Chinese) [左亚运. 2019. 甜菜夜蛾对甲维盐和双酰胺类杀虫剂抗性机理的研究. 博士学位论文. 南京: 南京农业大学]

(责任编辑:李美娟)