

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.20240028

黄带犀猎蝽对小菜蛾的捕食作用

姚冰珂^{1,2}, 杜嘉宜^{1,2}, 高莉萍^{1,2}, 曹 飞^{1,2}, 黎 叶^{1,2}, 王圣红^{1,2}, 王香萍^{1,2*}

¹农林病虫害预警与调控湖北省工程技术中心,湖北 荆州 434025; ²长江大学,湖北 荆州 434025

摘要:【目的】探究不同虫态黄带犀猎蝽对小菜蛾幼虫的捕食能力,为小菜蛾的生物防治提供理论根据。【方法】在实验室条件下开展黄带犀猎蝽3、4、5龄若虫及成虫对小菜蛾3、4龄幼虫的捕食功能反应、搜寻效应及干扰反应。【结果】黄带犀猎蝽3、4、5龄若虫及成虫对小菜蛾3、4龄幼虫的捕食功能反应均符合Holling II型圆盘方程,即其捕食量随着猎物密度增加而逐渐增加。与捕食小菜蛾3龄幼虫相比,黄带犀猎蝽雌成虫和5龄若虫对小菜蛾4龄幼虫的日最大捕食量较大,分别为93.63和58.34头;与若虫相比,黄带犀猎蝽雌成虫对小菜蛾3、4龄幼虫的捕食效能(a/T)更好,分别为60.98和103.65。黄带犀猎蝽对小菜蛾的捕食量与猎物密度呈正相关,而搜寻效应与猎物密度呈负相关,且黄带犀猎蝽雌成虫的搜寻效应最高。随着黄带犀猎蝽密度的增大,种内干扰作用增强,黄带犀猎蝽的捕食率呈下降趋势。【结论】黄带犀猎蝽在防治小菜蛾方面有较好的潜力,可应用于小菜蛾的防控实践。

关键词: 黄带犀猎蝽; 小菜蛾; 捕食功能; 搜寻反应; 干扰反应



开放科学标识码
(OSID 码)

Study of the predation of *Plutella xylostella* by *Sycanus bifidus*

YAO Bingke^{1,2}, DU Jiayi^{1,2}, GAO Liping^{1,2}, CAO Fei^{1,2}, LI Ye^{1,2},
WANG Shenghong^{1,2}, WANG Xiangping^{1,2*}

¹Agricultural and Forestry Pests Early Warning and Control Engineering Technology Center of Hubei Province, Jingzhou, Hubei 434025, China; ²Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434025, China

Abstract: 【Aim】 The predation of *Plutella xylostella* by *Sycanus bifidus* in different insect states was investigated to provide a theoretical basis for the biological control of *P. xylostella*. 【Method】 The predation functional response, search effect, and interference response of old nymphs and adults of *S. bifidus* to the 3rd and 4th instar larvae of *P. xylostella* were studied under laboratory conditions. 【Result】 The functional responses of the 3rd, 4th, and 5th instar nymphs and adults of *S. bifidus* towards the 3rd and 4th instar larvae of *P. xylostella* conformed to the Holling II type disk equation, indicating that, the degree of predation increased with the increase in prey density. The female adults and 5th instar nymphs of *S. bifidus* showed higher daily maximum predation rates towards the 4th instar larvae of *P. xylostella*, i.e., 93.63 and 58.34, respectively, compared with those towards the 3rd instar larvae of *P. xylostella*. Compared with nymphs, the predation efficiencies (a/T) of the female adults of *S. bifidus* towards the 3rd and 4th instar larvae of *P. xylostella* were better, i.e., 60.98 and 103.65, respectively. The degree of predation of *S. bifidus* was positively correlated with prey density, whereas the search effect was negatively correlated with prey density, with the highest search effect being observed in female adults. With an increase in the densities of *S. bifidus* and its prey, the intraspecific interference increased, and the predation rate decreased. 【Conclusion】 The results showed that *S. bifidus* had good potential for the prevention and control of *P. xylostella* and could be used for pest management practices targeting *P. xylostella*.

Key words: *Sycanus bifidus*; *Plutella xylostella*; predatory function; search response; interference response

黄带犀猎蝽 *Sycanus bifidus* (Fabricius), 属半翅目 Hemiptera 猎蝽科 Reduviidae, 是农林业中一种重要的捕食性天敌昆虫。黄带犀猎蝽在我国分布于广西、福建、云南和贵州等地, 在国外分布在缅甸、印度和泰国等。黄带犀猎蝽捕食鳞翅目幼虫, 如马尾松毛虫 *Dendrolimus punctatus* (Walker)、珊

毒蛾 *Lymantria viola* Swinhoe 和两色绿刺蛾 *Thepea bicolor* (Walker) 等,对蝗虫、叶峰和蚜虫等也有捕食作用(黄增和等,1991;黎光娅等,2022)。陈苏怡等(2023b)研究了黄带犀猎蝽对甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hubner) 的捕食作用,发现其 3 龄及以上虫态均能捕食甜菜夜蛾 3 龄幼虫,且随着甜菜夜蛾 3 龄幼虫密度的增加,黄带犀猎蝽的捕食量上升,捕食增长速率先增加后降低。目前研究表明,黄带犀猎蝽对草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (王亚楠,2020)、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* (Fabricius) (杜浩,2021)、黏虫 *Mythimna separata* (陈苏怡,2023a) 等均可捕食,但尚未有其捕食小菜蛾 *Plutella xylostella* (Linnaeus) 的相关报道。

小菜蛾隶属鳞翅目 Lepidoptera 菜蛾科 Plutellidae,是一种寡食性害虫(French & White,1960),是危害十字花科蔬菜的重要害虫。严重时受害叶片全叶被吃成网状,蔬菜生长受到影响,造成减产(董万庆等,2022)。小菜蛾在不同地区危害程度不同,在北方地区一年发生 5~6 代,但在华南地区发生世代数较多,可发生 15 代以上(张慧慧等,2020)。目前,控制小菜蛾最有效的措施是化学防治,但该虫可快速对多种农药产生抗药性,因此进行综合防控非常重要(Cock *et al.*,2021)。物理防治中的性诱剂诱捕或迷向对小菜蛾有一定的控制作用(王香萍和张钟宁,2008),但由于小菜蛾可进行多次交配,性诱剂引起的延迟交配对其繁殖产生的影响有限,因此性诱剂防治有一定局限性(Wang *et al.*,2005,2011)。生物防治是综合防控的重要组成部分,利用寄生性天敌防控取得了不错的效果(张红梅等,2022),在捕食性天敌防控方面国内已报道的主要包括蠋蝽 *Arma chinensi* (Fabricius)、微小花蝽 *Orius minutius* (Linnaeus)、拟环纹豹蛛 *Pardosa pseudoannulata* (Boesenberg & Strand) 和前凹豹蛛 *Pardosa procurva* (Yu & Song) 等(孙丽娟等,2017;唐艺婷等,2020;曾粮斌等,2016)。

目前,虽有报道黄带犀猎蝽可取食小菜蛾,但未对其捕食能力进行详细的研究。本文研究了 3~5 龄黄带犀猎蝽若虫和雌雄成虫对 3、4 龄小菜蛾的捕食能力与猎物密度和捕食者密度的关系,旨在探究黄带犀猎蝽对小菜蛾的防控潜力,为黄带犀猎蝽的应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

黄带犀猎蝽采自云南省绿春县半坡乡玉米田,在实验室内用黄粉虫 *Tenebrio molitor* L. 稳定繁殖多代,通过大小、翅芽区分若虫龄期,通过腹末区分雌雄(王亚楠,2022);小菜蛾(吉林省浩康生物科技有限公司)在实验室内以白菜 *Brassica rapa* var. *glabra* Regel 叶饲养 2~3 代后备用。黄带犀猎蝽与小菜蛾均饲养于人工气候箱(赛福 PGX-250B)中,温度 $(26 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、光周期 L:D = 16 h:8 h、相对湿度 $70\% \pm 5\%$ 。

1.2 试验方法

1.2.1 黄带犀猎蝽对小菜蛾幼虫的捕食功能反应

试验前将饱食后的黄带犀猎蝽 3~5 龄若虫或 1 日龄成虫饥饿 24 h,期间单头放置在直径 6 cm、高 14.5 cm 的塑料盒中,用橡皮筋和尼龙网纱(100 目)封口,盒内放置湿润的脱脂棉为黄带犀猎蝽提供水分。24 h 后放入不同密度的 3 或 4 龄小菜蛾幼虫,设置小菜蛾 3、4 龄幼虫密度分别为 10、20、40、60、80 头·盒⁻¹,盒内放置适量白菜叶供小菜蛾取食,每处理重复 5 次,24 h 后检查并统计小菜蛾幼虫存活数量。

1.2.2 黄带犀猎蝽对小菜蛾 4 龄幼虫的干扰反应

以 1.2.1 中相同的方式对黄带犀猎蝽进行饥饿处理后,在各个塑料盒中分别接入 1、2、3、4、5 头黄带犀猎蝽成虫或 3~5 龄若虫,再分别接入 20、40、60、80 或 100 头小菜蛾 4 龄幼虫,黄带犀猎蝽与小菜蛾的密度比为 1:20,设 1:20、2:40、3:60、4:80 和 5:100 共 5 个数量比,共 25 个处理,每个处理重复 3 次,24 h 后统计黄带犀猎蝽的捕食量。

1.3 数据处理

Holling II 型功能反应 $N_a = aTN/(1 + aT_h N)$ 。式中, N 为供试猎物密度; N_a 为被捕食猎物数量, T 为猎物暴露给捕食者的时间($T = 1$ d), a 为瞬时攻击率, T_h 为处理 1 头猎物的时间(Holling,1959)。

搜寻效应方程 $S = a/(1 + aT_h N)$ 。式中, a 为瞬时攻击率, T_h 为处理时间, N 为猎物密度, S 为搜寻效应(丁岩钦,1994)。

Hassell-Varley 干扰模型 $E = QP^m$, ($E = N_a/NP$)。式中, E 为黄带犀猎蝽对小菜蛾 4 龄幼虫的捕食率, P 为猎蝽密度, m 为种内干扰常数, N_a 为被捕食猎物数量, Q 为搜寻系数(Hassel and Varley,

1969)。

分摊竞争强度 $I = (E_1 - E_P) / E_1$ 。式中, I 为分摊竞争强度, E_1 、 E_P 分别表示 1 头和 P 头天敌的捕食作用率(邹运鼎等, 1996)。

以上试验数据均采用 Excel 2017 和 DPS 进行统计分析, 用 GraphPad Prism 8.0 拟合方程并作图。

2 结果与分析

2.1 黄带犀猎蝽对小菜蛾幼虫的捕食功能反应

黄带犀猎蝽 3、4、5 龄若虫和成虫分别对小菜蛾 3、4 龄幼虫的捕食量均随着猎物密度的增加显著增加, 当猎物密度达到一定值后, 黄带犀猎蝽的日捕食量趋于稳定。捕食量实际值与理论值的卡方适合性检验结果显示, 各虫态黄带犀猎蝽的卡方值最大为 4.45, 均小于 $\chi^2(0.05, 4) = 9.49$, 表明理论值与观测值吻合, 所拟合的 Holling II 型圆盘方程可反映黄带犀猎蝽对小菜蛾幼虫的实际捕食情况, 其拟合后曲线见图 1。

黄带犀猎蝽 3 龄若虫对 4 龄小菜蛾的瞬时攻击率(0.50)和捕食能力(20.88)均小于黄带犀猎蝽已测试的其他龄期, 黄带犀猎蝽 3 龄若虫对小菜蛾 3 龄幼虫的处理时间最长, 为 0.03 d。总体表现为黄带犀猎蝽 3、4 龄若虫和雄成虫对小菜蛾 3 龄幼虫的捕食能力更强, 而 5 龄若虫和雌成虫对 4 龄小菜蛾的捕食能力增强。黄带犀猎蝽对 3 龄小菜蛾的捕食能力由高到低依次为雌成虫>雄成虫>5 龄若虫>4 龄若虫>3 龄若虫; 对 4 龄小菜蛾的捕食能力由高到低依次为雌成虫>5 龄若虫>雄成虫>4 龄若虫>3 龄若虫。黄带犀猎蝽雌成虫对 3、4 龄小菜蛾的捕食能力分别为 60.9829 和 103.6517, 均高于黄带犀猎蝽其他虫态(表 1)。

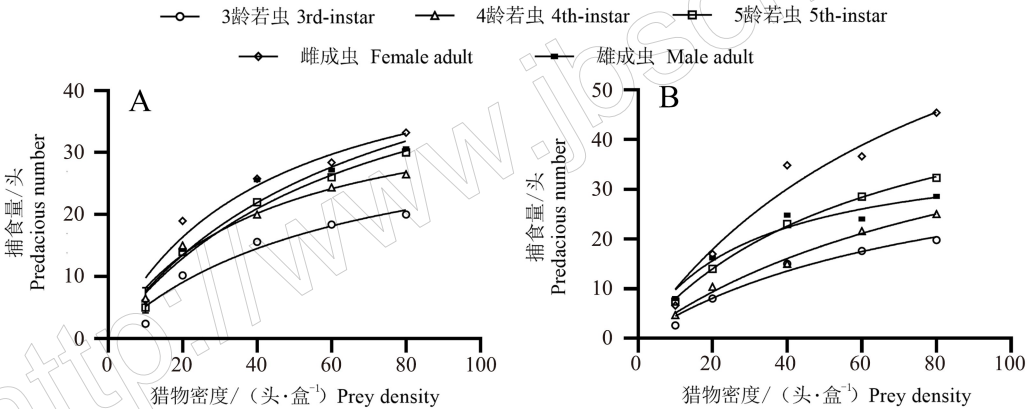


图 1 黄带犀猎蝽对小菜蛾 3 龄(A)、4 龄(B) 幼虫的捕食功能曲线

Fig.1 Predatory function curve of *S. bifidus* to 3rd instar (A) and 4th instar (B) larvae of *P. xylostella*

表 1 黄带犀猎蝽对小菜蛾 3、4 龄幼虫的功能反应参数

Table 1 Functional response parameters *S. bifidus* to the 3rd and 4th instar larvae of *P. xylostella*

虫态 Stage	猎物 龄期 Prey age	功能反应方程 Functional response equation	相关系数 Corr-elation coefficient	瞬时 攻击率 Instantaneous attack rate/%	处理时间 Handling time/d	最大日平均 捕食量/头 Maximum prey consumed daily	捕食能力 Predation capacity
3 龄若虫 3rd-instar nymph	3	$N_a = 0.6063N / (1 + 0.0167N)$	0.9732	0.6063	0.0276	36.2582	21.9833
	4	$N_a = 0.5019N / (1 + 0.0121N)$	0.9850	0.5019	0.0240	41.5973	20.8777
4 龄若虫 4th-instar nymph	3	$N_a = 1.0250N / (1 + 0.0258N)$	0.9901	1.0250	0.0251	39.7931	40.7879
	4	$N_a = 0.5602N / (1 + 0.0099N)$	0.9951	0.5602	0.0176	56.7537	31.7934
5 龄若虫 5th-instar nymph	3	$N_a = 0.8508N / (1 + 0.0156N)$	0.9900	0.8508	0.0183	54.5256	46.3904
	4	$N_a = 0.9210N / (1 + 0.0158N)$	0.9993	0.9210	0.0171	58.3431	53.7340
雌成虫 Female adult	3	$N_a = 1.2160N / (1 + 0.0242N)$	0.9700	1.2160	0.0199	50.1505	60.9829
	4	$N_a = 1.1070N / (1 + 0.0118N)$	0.9343	1.1070	0.0107	93.6330	103.6517
雄成虫	3	$N_a = 0.8791N / (1 + 0.0151N)$	0.9586	0.8791	0.0172	58.2072	51.1700
Male adult	4	$N_a = 1.3050N / (1 + 0.0335N)$	0.9742	1.3050	0.0257	38.9864	50.8772

2.2 黄带犀猎蝽对小菜蛾幼虫的搜寻效应

黄带犀猎蝽对小菜蛾幼虫的搜寻效应随着猎物密度的增加而降低,黄带犀猎蝽成虫对小菜蛾幼虫的搜寻效应变化下降幅度大,若虫对小菜蛾幼虫的搜寻效应变化下降幅度小。黄带犀猎蝽雌成虫在不同猎物密度下的搜寻效应均最高;当 4 龄小菜蛾幼虫密度为 10、20、40、60、80 头·盒⁻¹时,黄带犀

猎蝽雌成虫的搜寻效应分别为 0.99、0.90、0.75、0.65、0.57。当 3 龄小菜蛾幼虫密度为 10、20、40、60、80 头·盒⁻¹时,黄带犀猎蝽雌成虫的搜寻效应分别为 0.98、0.82、0.62、0.50、0.41。总体来说,当猎物密度小于 40 头·盒⁻¹时,黄带犀猎蝽成虫对小菜蛾幼虫的寻找效应高于若虫(表 2)。

表 2 黄带犀猎蝽对小菜蛾 3、4 龄幼虫的搜寻效应
Table 2 The searching effects of *S. bifidus* on the 3rd and 4th instar larvae of *P. xylostella*

虫态 Stage	猎物龄期 Prey age	搜寻效应方程 Searching effect equation	猎物密度/(头·盒 ⁻¹) Prey density				
			10	20	40	60	80
3 龄若虫 3rd-instar nymph	3	$S=0.6063/(1+0.0167N)$	0.5194	0.4543	0.3632	0.3025	0.2592
	4	$S=0.5019/(1+0.1200N)$	0.4479	0.4045	0.3387	0.2913	0.2556
4 龄若虫 4th-instar nymph	3	$S=1.0250/(1+0.0257N)$	0.8153	0.6768	0.5052	0.4030	0.3352
	4	$S=0.5602/(1+0.0099N)$	0.5099	0.4679	0.4018	0.3520	0.3132
5 龄若虫 5th-instar nymph	3	$S=0.8508/(1+0.0156N)$	0.7362	0.6488	0.5243	0.4399	0.3789
	4	$S=0.9210/(1+0.0157N)$	0.7957	0.7004	0.5650	0.4735	0.4075
雌成虫 Female adult	3	$S=1.2160/(1+0.0242N)$	0.9791	0.8194	0.6179	0.4959	0.4142
	4	$S=1.1070/(1+0.0118N)$	0.9898	0.8950	0.7511	0.6471	0.5684
雄成虫 Male adult	3	$S=0.8791/(1+0.0151N)$	0.7636	0.6750	0.5478	0.4609	0.3978
	4	$S=1.3050/(1+0.0335N)$	0.9772	0.7811	0.5573	0.4332	0.3543

2.3 黄带犀猎蝽对小菜蛾 4 龄幼虫的干扰反应

当不同龄期黄带犀猎蝽和 4 龄小菜蛾的数量以相同比例增长时,黄带犀猎蝽对小菜蛾 4 龄幼虫的捕食总量随自身密度的增加而增加,平均捕食量和捕食作用率随自身密度的增加逐渐下降,表明黄带犀猎蝽个体间存在种内竞争和相互干扰。将捕食作用率与天敌密度用 Hassell-Varley 方程进行拟

合,发现干扰反应方程与 Hassell-Varley 干扰模型具有显著相关性($R^2>0.9,F>F_{0.01}(1,3),p<0.05$)。所得结果如表 3 所示,黄带犀猎蝽 3、4、5 龄若虫和雌雄成虫的干扰系数分别为 0.8970、0.9095、0.9199、1.2690 和 1.2400,说明随着猎蝽龄期的增加,干扰作用增强,从而导致捕食率下降(表 3)。

表 3 黄带犀猎蝽捕食小菜蛾幼虫的干扰作用
Table 3 The interference effect of *S. bifidus* on the predation of *P. xylostella* larvae

虫态 Stage	Hassell 模型方程 Hassell equation	搜寻常数 Search constant	干扰系数 Interference factor	R^2	F	P
3 龄若虫 3rd-instar nymph	$E=0.3462P^{-0.8970}$	0.3462	0.8970	0.9237	59.1130	0.0002
4 龄若虫 4th-instar nymph	$E=0.4130P^{-0.9095}$	0.4130	0.9095	0.9505	56.8560	0.0002
5 龄若虫 5th-instar nymph	$E=0.5678P^{-0.9199}$	0.5678	0.9199	0.9419	79.4910	0.0001
雌成虫 Female adult	$E=0.9599P^{-1.2690}$	0.9599	1.2690	0.9924	645.7140	0.0001
雄成虫 Male adult	$E=0.8217P^{-1.2400}$	0.8217	1.2400	0.9767	215.3720	0.0001

3 讨论与结论

本研究中,黄带犀猎蝽 3、4、5 龄若虫和成虫对 3、4 龄小菜蛾幼虫均有捕食作用,且捕食量随猎物密度的增加而增加。黄带犀猎蝽捕食小菜蛾幼虫符合 Holling II 圆盘方程,其搜寻效应随猎物密度的增加而减少,其自身密度干扰反应符合 Hasse 方程,即随着其自身密度的增加,平均捕食量逐渐减少,捕食作用率逐渐降低。与其他虫态相比,黄带

犀猎蝽雌成虫对小菜蛾的日最大捕食量最多(93.6330头),处理时间最短(0.01 d),这与南方小花蝽 *Orius similis* (Zheng)雌成虫对西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Pergande)成虫(胡昌雄等,2022)、烟盲蝽 *Cyrtopeltis tenuis* (Reuter)雌成虫对小菜蛾卵(Ebrahimi *et al.*,2022)和黄带犀猎蝽雌成虫对草地贪夜蛾 3、4、5 龄幼虫(任雪敏,2022)的捕食功能研究结果一致。与黄带犀猎蝽雌成虫对小

菜蛾 3、4 龄幼虫的捕食量最高不同,南方小花蝽 5 龄若虫对豆蚜的捕食量高于雌成虫,这可能是因为南方小花蝽若虫历期较短,5 龄若虫需要消耗大量能量羽化为成虫(张晓媛,2023),而黄带犀猎蝽 5 龄若虫历期较长,对猎物的需求没有南方小花蝽迫切。黄带犀猎蝽雌成虫捕食能力优于其他虫态,分析原因可能是雌成虫为了满足繁殖需求,需要预备更多能量。黄带犀猎蝽的瞬时攻击率表现为雌成虫或雄成虫比若虫更高,分析原因可能是成虫活动能力更强,更易搜索小菜蛾并捕食成功(龚雪娜等,2022)。

捕食者在捕食过程中对猎物的搜寻效应受到空间及自身竞争的干扰,捕食作用率会下降。相同猎物密度下,黄带犀猎蝽雌成虫的搜寻效应最大,表明雌成虫虽然受种内干扰的影响,但仍有较好的捕食潜能,因此在利用黄带犀猎蝽对小菜蛾进行生物防治时,雌成虫可能具有更好的控制效果。本研究结果显示,各虫态黄带犀猎蝽对小菜蛾的搜寻效应均呈随小菜蛾密度的增加而降低的趋势,这与蠋蝽对马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlineata* (Say) 幼虫的搜寻效应随马铃薯甲虫幼虫密度变化的规律类似(刘娟等,2021)。在猎物密度比与捕食空间不变的情况下,不同龄期黄带犀猎蝽的日均捕食量均随自身密度的增加而降低,说明随着捕食者密度的增加,干扰作用增强,导致整体捕食效能下降。游梓翊等(2023)研究表明,红彩瑞猎蝽 *Rhynocoris fuscipes* (Fabricius) 对小地老虎 *Agrotis ipsilon* (Hufnagel) 的密度比对捕食也存在很强的干扰,这与黄带犀猎蝽与小菜蛾幼虫的干扰反应情况类似。

根据本研究结果可知,黄带犀猎蝽对小菜蛾存在较强的捕食能力,可通过释放黄带犀猎蝽防治小菜蛾。黄带犀猎蝽种内干扰作用较强,个体间存在觅食竞争,因此在利用黄带犀猎蝽防治小菜蛾时,应考虑合理的释放密度,以实现最佳的防控效果。由于试验在室内进行,饲养盒中的空间与田间环境状况存在较大差异,且未能考虑到天敌和猎物种群多样性等因素造成的干扰,因此,需进一步研究黄带犀猎蝽在田间释放的的实际控制害能力。

参考文献

陈苏怡,杨毅娟,史爱民,孙婧婧,李虎,石安宪,彩万志, 2023a. 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
陈苏怡,赵萍,石安宪,史爱民,王春娅,彩万志,李虎, 2023b. 黄带犀猎蝽对甜菜夜蛾 3 龄幼虫的捕食作用. 中国生物防治学报, 39(2): 289-296.
丁岩钦,1994. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社.
董万庆,尹艳琼,郑丽萍,赵雪晴,李向永,张红梅,冯鹏飞,刘莹,宋文宏,湛爱东,2022. 滇西菜区小菜蛾发生规律及抗药性监测. 环境昆虫学报, 44(3): 722-728.
杜浩,只佳增,周劲松,刘学敏,张建春,岳建伟,2021. 黄带犀猎蝽成虫对斜纹夜蛾幼虫的捕食功能反应. 生物安全学报, 30(4): 287-291.
龚雪娜,罗梓文,玉香甩,曲浩,王雪松,龙丽雪,张东,梁晓静,陈林波,龙亚芹,2023. 叉角厉蝽对于不同虫龄茶谷蛾幼虫的捕食功能反应. 中国生物防治学报, 39(5): 1066-1075.
游梓翊,刘平平,蒲小明,孙郑,邓海滨,2023. 红彩瑞猎蝽对小地老虎捕食功能反应研究. 天津农业科学 (8): 49-55.
胡昌雄,雷志远,张倩,范苇,殷红慧,徐天养,陈国华,张晓明,2022. 南方小花蝽对西花蓟马成虫的捕食功能及种内互残行为. 植物保护学报, 49(3): 758-766.
黄增和,伍建芬,张宗强,1991. 黄带犀猎蝽的生物学及应用研究. 林业科学研究 (1): 57-64.
黎光娅,李露,王玉琴,杨燕林,2022. 黄带犀猎蝽饲养技术研究. 云南农业科技 (2): 6-8.
刘娟,廖江花,李超,胡恒志,韩露露,刘霞,牛平,2021. 蠋蝽成虫对马铃薯甲虫卵和低龄幼虫的捕食能力. 生物安全学报, 30(4): 282-286.
任雪敏,徐志文,赵斌,路纪芳,孙亚茹,展茂魁,2022. 黄带犀猎蝽成虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食行为和能力研究. 生物灾害科学, 45(1): 48-52.
孙丽娟,衣维贤,郑长英,2017. 微小花蝽对小菜蛾捕食控制的能力. 应用生态学报, 28(10): 3403-3408.
唐艺婷,郭义,潘明真,毛建军,陈红印,张礼生,王孟卿,2020. 蠋蝽对小菜蛾幼虫的捕食作用. 植物保护, 46(4): 155-160.
王香萍,张钟宁,2008. 性诱剂迷向法防治高山甘蓝田小菜蛾研究. 植物保护, 34(5): 110-113.
王亚楠,赵胜园,何运转,吴孔明,李国平,封洪强,2020. 黄带犀猎蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食作用. 中国生物防治学报, 36(4): 525-529.
王亚楠,2022. 黄带犀猎蝽生物学特性及其对草地贪夜蛾控制作用研究. 硕士学位论文. 保定: 河北农业大学.
邹运鼎,耿继光,陈高潮,孟庆雷,王公明,1996. 异色瓢虫若虫对麦三叉蚜的捕食作用. 应用生态学报, 7(2): 197-200.

Functional morphology of antennal chemoreceptors of the parasitoid *Microplitis croceipes* (Hymenoptera: Braconidae). *Arthropod Structure & Development*, 29(3): 231–240.

SCHNEIDER D, 1964. Insect antennae. *Annual review of Entomology*, 9(1): 103–122.

SCHOONHOVEN L M, VAN LOON J J A, 2002. An inventory of taste in caterpillars: each species its own key. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 48: 215–263.

WANG R, ZHANG L, XU L L, ZONG S X, LUO Y Q, 2015. Sensilla on the antennae and ovipositor of the sea buckthorn carpenter moth, *Hococerus hippophaecolus* Hia et al (Lepidoptera: Cossidae). *Neotropical Entomology*, 44(1): 68–76.

ZACHARUK R Y, 1980. Ultrastructure and function of insect chemosensilla. *Annual Review of Entomology*, 25(1): 27–47.

(责任编辑:郭莹)

~~~~~

(上接第 85 页)

曾粮斌, 程毅, 严准, 马骏, 任顺祥, 魏林, 薛召东, 2016. 拟环纹豹蛛和前凹豹蛛对小菜蛾的捕食作用. *中国农学通报*, 32(26): 48–54.

张红梅, 王燕, 尹艳琼, 刘莹, 赵雪晴, 李向永, 谌爱东, 陈宗麒, 陈福寿, 2022. 十字花科蔬菜小菜蛾与半闭弯尾姬蜂种群动态研究. *植物保护*, 48(1): 251–257.

张慧慧, 陈安琪, 单提升, 许国升, 王翠翠, 史雪岩, 梁沛, 束长龙, 张杰, 2020. 京郊西兰花小菜蛾的田间防治药剂筛选与评价. *植物保护*, 46(1): 262–265.

COCK C, MASON P G, HAYE T, CAPPUCCINON, 2021. Determining the host range of *Diadromus collaris* (Gravenhorst) (Hymenoptera: Ichneumonidae), a candidate biological control agent for diamondback moth *P. xylostella* Linnaeus (Lepidoptera: Plutellidae) in Canada. *Biological Control*, 161: 104705.

EBRAHIMI M, DE CLERCQ P, MAHDIAN K, 2022. Predation potential and prey-stage preference of two mirid bugs on different stages of *Plutella xylostella*. *Bulletin of Insectology*, 75(2): 299–305.

FRENCH R, WHITE J, 1960. The diamond-back moth outbreak of 1958. *Plant Pathology*, 9(3): 77–84.

HASSELL M, VARLEY G, 1969. New inductive population model for insect parasites and its bearing on biological control. *Nature*, 223: 1113–1117.

HOLLING C S, 1959. Some characteristics of simple types of predation and parasitism1. *The Canadian Entomologist*, 91(7): 385–98.

WANG X P, FANG Y L, ZHANG Z N, 2005. Effect of male and female multiple mating on the fecundity, fertility, and longevity of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.). *Journal of Applied Entomology*, 129(1): 39–42.

WANG X P, FANG Y L, ZHANG Z N, 2011. Effects of delayed mating on the fecundity, fertility and longevity of females of diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Insect Science*, 18(3): 305–310.

(责任编辑:郭莹)