蠋蝽成虫对两种烟草害虫卵及3龄幼虫的捕食功能反应

杨 灿[1,2]， 母银林[1,2]， 汪 洁[1,2]， 黄纯杨[3]，
张长华[3]， 喻会平[4]， 陈祥盛[1,2*]

(1. 贵州大学昆虫研究所，贵阳 550025；2. 贵州大学昆虫资源开发利用省级特色重点实验室，贵阳 550025；
3. 贵州省烟草公司遵义市公司，遵义 563300；4. 贵州省烟草公司毕节市公司技术中心，毕节 551700)

摘要 为探究蠋蝽对两种烟草害虫烟青虫和斜纹夜蛾的捕食能力，在室内可控条件下开展了蠋蝽雌雄成虫对烟青虫和斜纹夜蛾卵及3龄幼虫的捕食试验，利用Holling Ⅱ功能模型拟合蠋蝽雌雄成虫对烟青虫和斜纹夜蛾的捕食功能反应。结果表明，蠋蝽雌成虫对烟青虫和斜纹夜蛾的瞬时攻击率为：烟青虫3龄幼虫(1.056)＞斜纹夜蛾卵(1.055)＞烟青虫卵(1.035)＞斜纹夜蛾3龄幼虫(0.973)；控害效应高低为：烟青虫卵(152.21)＞斜纹夜蛾卵(124.18)＞烟青虫3龄幼虫(15.09)＞斜纹夜蛾3龄幼虫(9.63)；蠋蝽雄成虫对烟青虫和斜纹夜蛾的瞬时攻击率为：烟青虫卵(1.060)＞斜纹夜蛾卵(1.056)＞烟青虫3龄幼虫(0.825)＞斜纹夜蛾3龄幼虫(0.760)；控害效应高低顺序为：斜纹夜蛾卵(111.16)＞烟青虫卵(101.92)＞烟青虫3龄幼虫(8.87)＞斜纹夜蛾3龄幼虫(7.04)。随着烟青虫和斜纹夜蛾密度的增加，蠋蝽成虫的搜寻效应会逐渐下降。研究结果表明蠋蝽雌雄成虫对烟青虫和斜纹夜蛾具有良好的防控能力，因此，可结合害虫预测预报，在烟青虫和斜纹夜蛾产卵高峰期和3龄幼虫发生前期大量释放蠋蝽成虫以降低两种害虫的种群数量，减少其对烟草的危害。

关键词 蠋蝽； 烟青虫； 斜纹夜蛾； 生物防控； 捕食功能反应
中图分类号： S476 **文献标识码**： A **DOI**： 10.16688/j.zwbh.2020678

Predatory functional responses of *Arma chinensis* (Fallou) to the eggs and 3rd-instar larvae of two tobacco pests

YANG Can[1,2]， MU Yinlin[1,2]， WANG Jie[1,2]， HUANG Chunyang[3]，
ZHANG Changhua[3]， YU Huiping[4]， CHEN Xiangsheng[1,2*]

(1. *Institute of Entomology, Guizhou University, Guiyang* 550025, *China*; 2. *Provincial Special Key Laboratory for Development and Utilization of Insect Resources, Guizhou University, Guiyang* 550025, *China*; 3. *Zunyi Branch Company of Guizhou Tobacco Company, Zunyi* 563300, *China*; 4. *Technology Center, Bijie Branch Company of Guizhou Tobacco Company, Bijie* 551700, *China*)

Abstract To explore the predatory potential of *Arma chinensis* against *Heliothis assulta* and *Spodoptera litura*, the predation of the eggs and 3rd-instar larvae of *H. assulta* and *S. litura* by *A. chinensis* adults was measured under controlled conditions in the laboratory. The predatory functional responses of *A. chinensis* adults fitted the Holling Ⅱ function model. The instantaneous attack rates of *A. chinensis* female adults to the pests from high to low were: the 3rd-instar larvae of *H. assulta* (1.056), eggs of *S. litura* (1.055), eggs of *H. assulta* (1.035), the 3rd-instar larvae of *S. litura* (0.973). The predation capacities from high to low were: eggs of *H. assulta* (152.21), eggs of *S. litura* (124.18), 3rd-instar larvae of *H. assulta* (15.09) and 3rd-instar larvae of *S. litura* (9.63). The instantaneous attack rates of *A. chinensis* male adults to the pests from high to low were: eggs of *H. assulta* (1.060), eggs of *S. litura* (1.056), 3rd-instar larvae of *H. assulta* (0.825), 3rd-instar larvae of *S. litura* (0.760). The

收稿日期： 2020-12-17 **修订日期**： 2021-03-05
基金项目： 贵州省烟草公司遵义市公司科技项目(遵烟计[2018]11号)；中国烟草总公司贵州省公司重大科技专项(中烟黔科[2019]10号)
* 通信作者 E-mail：chenxs3218@163.com

predation capacities from high to low were: eggs of *S. litura* (111.16), eggs of *H. assulta* (101.92), 3rd-instar larvae of *H. assulta* (8.87), and 3rd-instar larvae of *S. litura* (7.04). With increasing densities of *H. assulta* and *S. litura*, the searching efficiency of *A. chinensis* adults decreased gradually. This study suggested that *A. chinensis* adults had a good control ability against *H. assulta* and *S. litura*. Combined with pest forecast and prediction, releasing a large number of *A. chinensis* adults during the oviposition peak period and occurrence prophase of 3rd-instar *H. assulta* and *S. litura* can help reduce the pest population size and decrease its damage to tobacco.

Key words *Arma chinensis*; *Heliothis assulta*; *Spodoptera litura*; biological control; predatory functional response

烟草是一种经济效益非常显著的经济作物,我国是世界上最大的烤烟产区之一[1]。斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* (Fabricius)和烟青虫 *Heliothis assulta* (Guenée) 是为害烟草的两种重要害虫,每年给烟草生产造成较大的经济损失[2-4]。

烟青虫是一种重要的寡食性农业害虫,主要为害烟草、辣椒等茄科植物[5]。在烟田,幼虫取食烟草心芽及嫩叶,偶尔蛀食烟茎,使烟株整株死亡[6],特别是 3 龄后幼虫进入暴食期,还具有转移为害的特性。资料显示,各大烟区每年因该虫造成的烟草产量损失达 5% ~ 10%,在大发生年份可超过 15%[3,7-9]。斜纹夜蛾是一种全世界范围分布并且具有间歇性暴发特点的广食性农业害虫,可为害 100 多科 389 种植物[10-11]。斜纹夜蛾主要以幼虫为害寄主植物。在烟叶旺长期-采收期幼虫啃食中、下部叶片及叶柄,进入 3 龄后因暴食性可将烟叶吃光只剩秆,若气候与食物适宜,能在短时间内造成不可逆的严重危害[12]。目前,"以虫治虫"的生物防治方法已逐渐成为烟草生产中害虫防治的主要趋势,蠋蝽等捕食性天敌昆虫在烟草害虫防治中的利用逐步为人们所重视。

蠋蝽 *Arma chinensis* (Fallou)隶属于半翅目 Hemiptera,蝽科 Pentatomidae,益蝽亚科 Asopinae,是一种捕食性天敌昆虫,可以捕食鳞翅目、鞘翅目、膜翅目及半翅目等多个目的害虫[13-15]。而在饲养技术[16]以及人工饲料[17-19]等方面的研究使得蠋蝽已经可以实现规模化扩繁。目前全国已有多个基地可持续为生物防治提供蠋蝽。研究表明蠋蝽对斜纹夜蛾幼虫具有良好的防控作用[12, 20-21],而其对斜纹夜蛾卵及对烟青虫的捕食情况目前未见报道。

斜纹夜蛾与烟青虫的 3 龄期是一个暴发与转移为害的关键期,因此本试验幼虫虫态选择为 3 龄,通过拟合蠋蝽雌雄成虫对烟青虫和斜纹夜蛾卵及 3 龄幼虫的捕食功能反应,探索其搜寻效应,以填补蠋蝽对烟青虫的捕食参数的空白,了解蠋蝽对两种烟草害虫的捕食能力,以期为利用蠋蝽防治这两种烟草害虫提供参考。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

蠋蝽由贵州省瓮安县天敌昆虫繁育基地提供;斜纹夜蛾和烟青虫采自贵州省瓮安县天文镇烟田(107.47°E,27.32°N),用烟草上二部以上去顶的烟花与烟叶进行扩繁备用。蠋蝽、烟青虫和斜纹夜蛾都饲养于人工气候箱(ARMA-580),饲养条件:温度为(26±0.5)℃,光周期为 L∥D=16 h∥8 h,湿度(RH)为(75±5)%。

1.2　试验方法

试验前将羽化 48 h 以内的蠋蝽雌雄成虫放置于捕食盒中(长 21.2 cm、宽 14.3 cm、高 9 cm),每盒放置 1 头蠋蝽和一块 8 cm^2 的水浸脱脂棉,同时将烟青虫或斜纹夜蛾幼虫放入同等规格的猎物盒中,卵则放入培养皿(直径 8 cm、高 1.2 cm)中,后将培养皿放入捕食盒内,待蠋蝽饥饿 24 h 后转移到猎物盒中。以幼虫作为猎物时,试验盒中放入一片烟叶避免其自相残杀。烟青虫和斜纹夜蛾卵密度设置为:20、40、60、80、100 粒/盒,3 龄幼虫密度设置为:5、10、15、20、25 头/盒。24 h 后检查猎物死亡情况,用镊子拨动幼虫,若其无反应、不活动则判定为死亡,若卵变为空壳则判定为被取食。每个处理 5 次重复。试验在温度(26±0.5)℃,光周期 L∥D=16 h∥8 h,RH(70±5)%的条件下进行。

1.3　数据分析

捕食功能反应方程:$N_a = aNT_r/(1+aT_hN)$[22],搜寻效应:$S = aT_r/(1+aT_hN)$[23]。控害效应:a/T_h。

式中 N_a:捕食猎物数,a:捕食者对猎物的瞬时攻击率,N:猎物密度,T_r:试验持续时间(试验设置为 24 h 即 T_r=1 d),T_h:处理猎物时间(捕食者处理一头猎物所需要的时间),S:搜寻效应。所得数据先用

Excel 2010 记录与处理，再利用 SPSS 19.0 拟合功能反应方程，最后用 Graphpad Prism 8.3.0 作图。

2 结果与分析

2.1 蠋蝽雌成虫对烟青虫和斜纹夜蛾卵及 3 龄幼虫的捕食功能反应

蠋蝽雌成虫对烟青虫和斜纹夜蛾卵及 3 龄幼虫的捕食功能反应均符合 Holling Ⅱ 模型（图 1），且 P 值都远小于 0.01（表 1），随着猎物密度的增加，蠋蝽雌成虫的捕食量先上升后逐渐趋于稳定。雌成虫对烟青虫和斜纹夜蛾瞬时攻击率表现为：烟青虫 3 龄幼虫（1.056）＞斜纹夜蛾卵（1.055）＞烟青虫卵（1.035）＞斜纹夜蛾 3 龄幼虫（0.973）；日最大捕食量为：烟青虫卵 147.06 粒，烟青虫 3 龄幼虫 14.29 头，斜纹夜蛾卵 117.65 粒，斜纹夜蛾 3 龄幼虫 9.90 头；控害效应为：烟青虫卵（152.21）＞斜纹夜蛾卵（124.18）＞烟青虫 3 龄幼虫（15.09）＞斜纹夜蛾 3 龄幼虫（9.63）。其拟合度为：烟青虫 3 龄幼虫（R^2＝0.988）＞烟青虫卵（R^2＝0.978）＞斜纹夜蛾卵（R^2＝0.976）＞斜纹夜蛾 3 龄幼虫（R^2＝0.973）。

表 1 蠋蝽雌成虫对烟青虫和斜纹夜蛾卵及 3 龄幼虫的捕食功能反应

Table 1 Predatory functional responses of female *Arma chinensis* to eggs and the 3rd-instar larvae of *Heliothis assulta* and *Spodoptera litura*

猎物 Prey	圆盘方程 Functional response equation	R^2	P	瞬时攻击率(a) Instantaneous attack rate	处理猎物时间(T_h)/d Handling time	日最大捕食量($1/T_h$) Maximum daily consumption	控害效应(a/T_h) Predation capacity
烟青虫卵 Egg of *H. assulta*	$N_a=1.035N/(1+0.007N)$	0.978	0.001	1.035	0.006 8	147.06 粒	152.21
烟青虫 3 龄幼虫 The 3rd-instar larvae of *H. assulta*	$N_a=1.056N/(1+0.074N)$	0.988	0.001	1.056	0.070 0	14.29 头	15.09
斜纹夜蛾卵 Egg of *S. litura*	$N_a=1.055N/(1+0.009N)$	0.976	0.002	1.055	0.008 5	117.65 粒	124.18
斜纹夜蛾 3 龄幼虫 The 3rd-instar larvae of *S. litura*	$N_a=0.922N/(1+0.093N)$	0.973	0.002	0.973	0.101	9.90 头	9.63

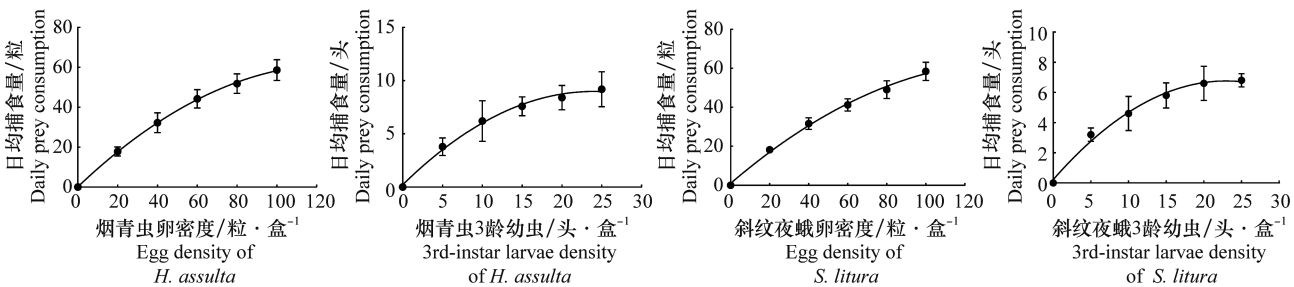


图 1 蠋蝽雌成虫对烟青虫和斜纹夜蛾卵及 3 龄幼虫的捕食功能反应

Fig. 1 Predatory functional responses of female *Arma chinensis* to eggs and the 3rd-instar larvae of *Heliothis assulta* and *Spodoptera litura*

2.2 蠋蝽雌成虫对烟青虫和斜纹夜蛾卵及 3 龄幼虫的搜寻效应

蠋蝽雌成虫对烟青虫和斜纹夜蛾卵及 3 龄幼虫的搜寻效应均随着猎物密度的增加而不断降低（图 2）。初始时，蠋蝽雌成虫对害虫的搜寻效应最高，顺序表现为：烟青虫卵（0.908）＞斜纹夜蛾卵（0.906）＞烟青虫 3 龄幼虫（0.771）＞斜纹夜蛾 3 龄幼虫（0.711），当猎物密度达到最大时，蠋蝽雌成虫对其搜寻效应都降到最低值，顺序表现为：斜纹夜蛾卵（0.692）＞烟青虫卵（0.609）＞斜纹夜蛾 3 龄幼虫（0.565）＞烟青虫 3 龄幼虫（0.371）。

2.3 蠋蝽雄成虫对烟青虫和斜纹夜蛾卵及 3 龄幼虫的捕食功能反应

蠋蝽雄成虫对烟青虫和斜纹夜蛾卵及 3 龄幼虫的捕食功能反应均符合 Holling Ⅱ 模型（图 3），且 P 值都远小于 0.05（表 2），随着猎物密度的增加，蠋蝽雄成虫的捕食量同样呈先上升后逐渐趋于稳定的趋势。蠋蝽雄成虫对烟青虫和斜纹夜蛾瞬时攻击率表

现为:烟青虫卵(1.060)>斜纹夜蛾卵(1.056)>烟青虫 3 龄幼虫(0.825)>斜纹夜蛾 3 龄幼虫(0.760);日最大捕食量为:烟青虫卵 96.15 粒,烟青虫 3 龄幼虫 10.75 头,斜纹夜蛾卵 105.26 粒,斜纹夜蛾 3 龄幼虫 9.26 头;控害效应为:斜纹夜蛾卵(111.16)>烟青虫卵(101.92)>烟青虫 3 龄幼虫(8.87)>斜纹夜蛾 3 龄幼虫(7.04)。其拟合度表现为烟青虫 3 龄幼虫(R^2=0.993)>斜纹夜蛾 3 龄幼虫(R^2=0.954)>斜纹夜蛾卵(R^2=0.941)>烟青虫卵(R^2=0.879)。

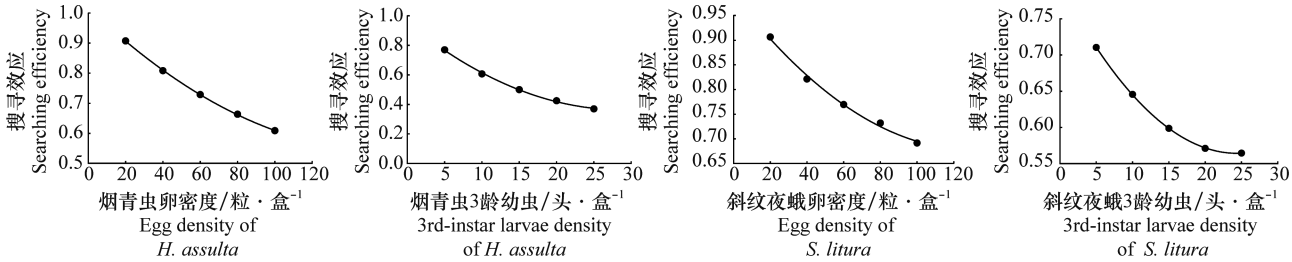


图 2　蠋蝽雌成虫对烟青虫和斜纹夜蛾卵及 3 龄幼虫的搜寻效应

Fig. 2　Searching efficiency of female *Arma chinensis* to eggs and the 3rd-instar larvae of *Heliothis assulta* and *Spodoptera litura*

表 2　蠋蝽雄成虫对烟青虫和斜纹夜蛾卵及 3 龄幼虫的捕食功能反应

Table 2　Predatory functional responses of male *Arma chinensis* to eggs and the 3rd-instar larvae of *Heliothis assulta* and *Spodoptera litura*

猎物 Prey	圆盘方程 Functional response equation	R^2	P	瞬时攻击率(a) Instantaneous attack rate	处理猎物时间(T_h)/d Handling time	日最大捕食量($1/T_h$) Maximum daily consumption	控害效应(a/T_h) Predation capacity
烟青虫卵 Egg of *H. assulta*	$N_a=1.060N/(1+0.011N)$	0.879	0.019	1.060	0.010 4	96.15 粒	101.92
烟青虫 3 龄幼虫 The 3rd-instar larvae of *H. assulta*	$N_a=0.825N/(1+0.077N)$	0.993	<0.001	0.825	0.093 0	10.75 头	8.87
斜纹夜蛾卵 Egg of *S. litura*	$N_a=1.056N/(1+0.010N)$	0.941	0.006	1.056	0.009 5	105.26 粒	111.16
斜纹夜蛾 3 龄幼虫 The 3rd-instar larvae of *S. litura*	$N_a=0.760N/(1+0.082N)$	0.954	0.004	0.760	0.108 0	9.26 头	7.04

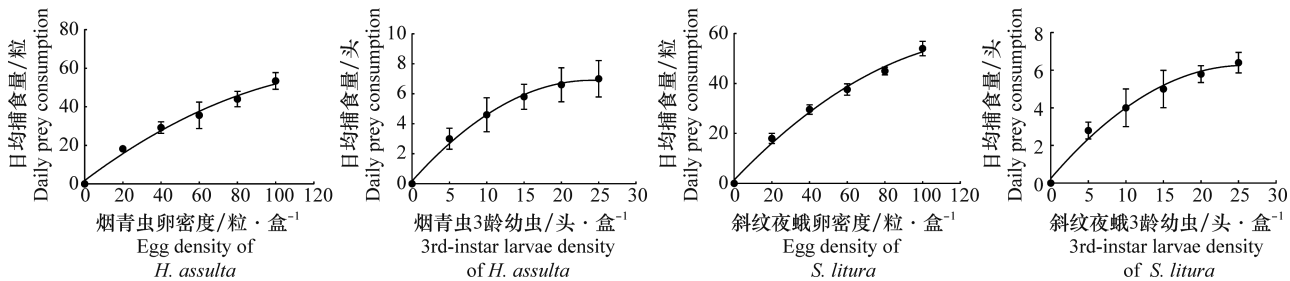


图 3　蠋蝽雄成虫对烟青虫和斜纹夜蛾卵及 3 龄幼虫的捕食功能反应

Fig. 3　Predatory functional responses of male *Arma chinensis* to eggs and the 3rd-instar larvae of *Heliothis assulta* and *Spodoptera litura*

2.4　蠋蝽雄成虫对烟青虫和斜纹夜蛾卵及 3 龄幼虫的搜寻效应

蠋蝽雄成虫对烟青虫和斜纹夜蛾的搜寻效应同样随着猎物密度的增加而不断降低(图 4)。初始时,蠋蝽雄成虫对两种害虫的搜寻效应最高,顺序表现为:斜纹夜蛾卵(0.895)>烟青虫卵(0.869)>斜纹夜蛾 3 龄幼虫(0.618)>烟青虫 3 龄幼虫(0.596),当烟青虫和斜纹夜蛾密度达到最大时,蠋蝽雄成虫对其搜寻效应都降到最低值,其顺序表现为:斜纹夜蛾卵(0.686)>烟青虫卵(0.505)>斜纹夜蛾 3 龄幼虫(0.498)>烟青虫 3 龄幼虫(0.282)。

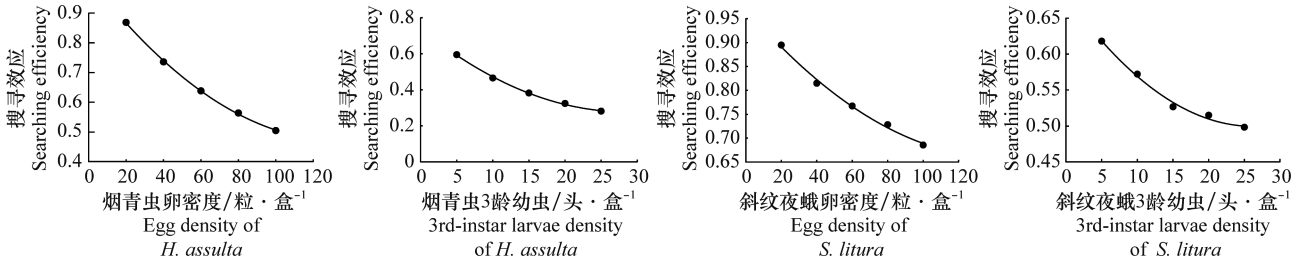


图 4 蠋蝽雄成虫对烟青虫和斜纹夜蛾卵及 3 龄幼虫的搜寻效应

Fig. 4 Searching efficiency of male *Arma chinensis* to eggs and the 3rd-instar larvae of *Heliothis assulta* and *Spodoptera litura*

3 讨论

捕食功能反应是测试天敌昆虫能否捕食害虫以及对害虫控害能力的重要依据。本研究开展了蠋蝽雌雄成虫对烟青虫和斜纹夜蛾卵及 3 龄幼虫的捕食功能反应试验，明确了蠋蝽分别对两种烟草害虫的捕食能力，为进一步利用蠋蝽防治斜纹夜蛾或烟青虫提供参考数据。

试验结果显示，蠋蝽雌雄成虫对烟青虫或斜纹夜蛾卵与 3 龄幼虫都具有捕食能力，且符合 Holling Ⅱ功能模型，这与其他捕食性天敌对猎物的捕食功能模型一致[24-27]。其中，除了蠋蝽雌成虫对烟青虫 3 龄幼虫的瞬时攻击率高于烟青虫卵外，蠋蝽雌成虫捕食斜纹夜蛾，蠋蝽雄成虫捕食斜纹夜蛾和捕食烟青虫中，均表现为蠋蝽对猎物卵的瞬时攻击率高于其 3 龄幼虫。可能由于卵是静止虫态，所以被蠋蝽优先取食，这与天敌丽草蛉 *Chrysopa formosa* Brauer 捕食草地贪夜蛾低龄幼虫与卵的研究结果相似[28]。此外，蠋蝽雌成虫对烟青虫或斜纹夜蛾的捕食量均高于雄成虫，说明雌成虫对烟青虫或斜纹夜蛾具有更强的捕食能力，这与体型较大的捕食者会因交配产卵等需求而取食更多猎物的观点相吻合[29]。

搜寻效应是天敌在捕食猎物过程中的行为反应。本试验中，蠋蝽成虫对烟青虫和斜纹夜蛾的搜寻效应均随着猎物密度的增加而降低，这与蠋蝽捕食其他猎物的研究结果相一致[12, 21, 30]。另外，捕食功能反应曲线和搜寻效应曲线显示，当烟青虫和斜纹夜蛾卵与 3 龄幼虫密度逐渐增加时，蠋蝽雌雄成虫对其捕食速率缓慢降低，而搜寻效率则由最高值降到最低值，这说明在烟青虫和斜纹夜蛾种群密度较低时，蠋蝽能够发挥更高效的控害作用。

研究结果表明，蠋蝽成虫对烟青虫或斜纹夜蛾卵与幼虫均具有一定的捕食能力，其中蠋蝽雌雄成虫对烟青虫和斜纹夜蛾卵的控害效应最好，在两种害虫卵及 3 龄幼虫密度较低时防控效果较好。实际应用时可结合害虫预测预报，在烟青虫和斜纹夜蛾进入为害初期和产卵高峰期时大量释放蠋蝽成虫以抑制两种烟草害虫种群数量，降低为害。

本研究结果在限定的空间中获得，一定程度上反映出蠋蝽对烟青虫和斜纹夜蛾卵和 3 龄幼虫的捕食能力，但在大田中，受环境因子的影响，蠋蝽对猎物的捕食效能可能会有所下降[20, 31]。因此，蠋蝽在田间对两种烟草害虫的实际控害能力尚有待进一步研究。此外，由于捕食者对猎物的控制能力会受到捕食者对猎物捕食选择性的直接影响[32]，在烟青虫和斜纹夜蛾幼虫发生时期重叠时[33]，蠋蝽是否对同时存在的两种害虫幼虫具有选择性，也值得进一步研究。

参考文献

[1] 吴红波. 生物防治在我国烟草病虫害防治上的应用[J]. 贵州农业科学，2006，34(S1)：103－105.

[2] 章士美，邢健生，胡文萍，等. 六种多食性昆虫食性的比较观察[J]. 昆虫学报，1956，6(1)：107－122.

[3] 惠丰立，诸学英. 烟草夜蛾的主要生物学特性及生物防治[J]. 湖北农业学报，2003(2)：61－62.

[4] 姚峰，廖伟，陈芝波，等. 烤烟烟青虫防治研究进展[J]. 安徽农业科学，2015，43(26)：110－112.

[5] 宋南，李为争，董钧锋，等. 烟青虫的分类地位和起源地辨析[J]. 应用昆虫学报，2020，57(3)：735－743.

[6] 黄国联，匡传富，谭琳，等. 烟草烟青虫生态防治研究进展[J]. 农业开发与装备，2015(9)：37－38.

[7] 王恩沛，陶谦，宋宏伟. 应用人工合成烟青虫 *Heliothis assulta* Guenée 性信息素大面积诱蛾的研究[J]. 中国烟草学报，1994，2(2)：41－45.

[8] 赵兵，田福海，许涛，等. 烟青虫发生规律及测报因子研究[J]. 中国烟草，1995(4)：34－36.

[9] 谢立群，杨效文，张效羲. 烟青虫主要生物学特性及防治方法的研究现状[J]. 烟草科技，1997(2)：46－47.

[10] 秦厚国，汪笃栋，丁建，等. 斜纹夜蛾寄主植物名录[J]. 江西农业学报，2006，18(5)：51－58.

[11] AHMAD Y U，GHAFFAR A，RAFIQ M. Host plants of leaf worm，*Spodoptera litura*（Fabricius）（Lepidoptera：noctuidae）in Pakistan [J]. Asian Journal of Agriculture and Biology，2013，1(1)：23－28.

（下转 172 页）

China [J]. Plant Disease, 2013, 97 (10): 1388 - 1389.
[8] LIU Qili, WANG Yongjiang, ZHANG Zhenchen, et al. Diversity of sweepoviruses infecting sweet potato in China [J]. Plant Disease, 2017, 101 (12): 1 - 6.
[9] ZERBINI F M, BRIDDON R W, IDRIS A, et al. ICTV virus taxonomy profile: Geminiviridae [J]. Journal of General Virology, 2017, 98 (2): 131 - 133.
[10] 李华伟，刘中华，张鸿，等. 甘薯卷叶病毒 LAMP 快速检测技术的建立及应用[J]. 农业生物技术学报，2019，27(6)：1133 - 1140.
[11] 刘起丽. 中国甘薯双生病毒种类鉴定、分子变异及检测方法研究[D]. 北京：中国农业大学，2015.
[12] 王爽，田雨婷，乔奇，等. 侵染甘薯的菜豆金色花叶病毒属病毒和甘薯褪绿矮化病毒多重 PCR 检测方法的建立与应用[J]. 植物保护学报，2018，45(6)：1427 - 1428.
[13] 田雨婷，赵晓立，乔奇，等. 甘薯双生病毒实时荧光定量 PCR 检测方法的建立及应用[J]. 江苏师范大学学报(自然科学版)，2019，37(3)：35 - 39.
[14] 张盼，宋国华，乔奇，等. 烟粉虱中甘薯褪绿矮化病毒(SPCSV)的快速检测技术[J]. 植物保护，2012，38(5)：84 - 87.
[15] 周涛，梁彦，师迎春，等. 检测单头烟粉虱携带番茄黄化曲叶病毒的试剂盒：CN201210274394.0 [P]. 2012 - 11 - 14.
[16] 梁相志，施艳，李静静，等. 利用环介导等温扩增技术(LAMP)检测烟粉虱体内的瓜类褪绿黄化病毒(CCYV)[J]. 华中昆虫研究，2012，8：372.
[17] 陈婷，齐国君，赵蕊，等. 烟粉虱体内木尔坦棉花曲叶病毒的 LAMP 快速检测技术[J]. 环境昆虫学报，2016，38(3)：565 - 571.
[18] UMESAKI Y, SETOYAMA H. Structure of the intestinal flora responsible for development of the gut immune system in a rodent model [J]. Microbes and Infection, 2000, 2(11): 1343 - 1351.
[19] MA Siqi, ZHENG Qiufeng, YE Jiajie, et al. Identification of viruses infecting sweet potato in southern China by small RNA deep sequencing and PCR detection [J]. Journal of General Plant Pathology, 2019, 85 (2): 122 - 127.
[20] 李英梅，白青，王周平，等. 烟粉虱与番茄黄化曲叶病毒病发生关系研究[J]. 中国农学通报，2019，35(4)：102 - 107.
[21] 褚栋，张友军. 近 10 年我国烟粉虱发生为害及防治研究进展[J]. 植物保护，2018，44(5)：51 - 55.

(责任编辑：杨明丽)

(上接 162 页)

[12] 唐艺婷，王孟卿，李玉艳，等. 蠋蝽对斜纹夜蛾幼虫的捕食作用[J]. 中国烟草科学，2020，41(1)：62 - 66.
[13] 潘淑琴，杨显山，苑荣发，等. 蠋敌捕食柳毒蛾数量测定[J]. 吉林林业科技，1993(1)：25 - 26.
[14] 陈静，张建萍，张建，等. 蠋敌对双斑长跗萤叶甲成虫的捕食功能研究[J]. 昆虫天敌，2007，29(4)：149 - 154.
[15] 王文亮，刘芹，闫家河，等. 美国白蛾新天敌-蠋敌捕食能力的初步观察[J]. 山东林业科技，2012(1)：11 - 14.
[16] 潘明真，张海平，张长华，等. 饲养密度和性比对蠋蝽存活和繁殖生物学特性的影响[J]. 中国生物防治学报，2018，34(1)：52 - 58.
[17] ZOU Deyu, COUDRON T A, LIU Chenxi, et al. Nutrigenomic in *Arma chinensis*: transcriptome analysis of *Arma chinensis* fed on artificial diet and Chinese oak silkmoth *Antheraea pernyi* pupae [J/OL]. PLoS ONE, 2013, 8 (4): e60881. DOI: 10.1371/journal.pone.0060881.
[18] ZOU Deyu, COUDRON T A, WU Huihui, et al. Performance and cost comparisons for continuous rearing of *Arma chinensis* (Hemiptera: Pentatomidae: Asopinae) on a zoophytogenous artificial diet and a secondary prey [J]. Journal of Economic Entomology, 2015, 108(2): 454 - 461.
[19] 廖平，苗少明，许若男，等. 新型蠋蝽若虫液体人工饲料效果评价[J]. 中国生物防治报，2019，35(1)：9 - 14.
[20] 高强，王迪，张文慧，等. 蠋蝽对斜纹夜蛾幼虫的捕食作用研究[J]. 中国烟草科学，2019，40(6)：55 - 59.
[21] 杨志浩，孟玲，李保平. 虫龄对蠋蝽捕食斜纹夜蛾幼虫行为参数的影响[J]. 生态学杂志，2019，38(11)：3376 - 3381.
[22] HOLLING C S. Some characteristics of simple types of predation and parasitism [J]. The Canadian Entomologist, 1959, 91 (7): 385 - 398.
[23] 丁岩钦. 昆虫数学生态学[M]. 北京：科学出版社，1994：257 - 258，303 - 304.
[24] 曹雯星，张韬，杨欢，等. 大草蛉对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食功能评价[J]. 植物保护学报，2020，47(40)：839 - 844.
[25] 侯峥嵘，孙贝贝，刘先建，等. 大红犀猎蝽对草地贪夜蛾 3 龄幼虫捕食功能反应[J]. 植物保护学报，2020，47(4)：852 - 858.
[26] 孙贝贝，侯峥嵘，董民，等. 东亚小花蝽对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的捕食作用[J]. 植物保护学报，2020，47(4)：845 - 851.
[27] 李萍，李玉艳，向梅，等. 大草蛉幼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，2020，36(4)：513 - 519.
[28] 李玉艳，王孟卿，张莹莹，等. 丽草蛉幼虫对草地贪夜蛾卵及低龄幼虫的捕食能力评价[J]. 植物保护，2021，47(5)：178 - 184.
[29] 巫厚长，程遐年，邹运鼎. 不同饥饿程度的龟纹瓢虫成虫对烟蚜的捕食作用[J]. 应用生态学报，2000，11(5)：749 - 752.
[30] 唐艺婷，郭义，潘明真，等. 蠋蝽对小菜蛾幼虫的捕食作用[J]. 植物保护，2020，46(4)：155 - 160.
[31] 张晓军，张健，孙守慧. 蠋蝽对榆紫叶甲的捕食作用[J]. 中国森林病虫，2016，35(1)：13 - 15.
[32] 吴圣勇. 栗真绥螨生物学及实验种群生态学研究[D]. 北京：中国农业科学院，2011.
[33] 杨柳. 湖南烟区主要烟草害虫发生动态监测及抗性机制研究[D]. 长沙：湖南农业大学，2014.

(责任编辑：杨明丽)