

刘本菊, 秦得强, 周游, 等. 异色瓢虫对草地贪夜蛾的捕食行为观察与评价 [J]. 华南农业大学学报, 2020, 41(1): 28-33.
LIU Benju, QIN Deqiang, ZHOU You, et al. Observation and evaluation of predatory behavior of *Harmonia axyridis* on *Spodoptera frugiperda*[J]. Journal of South China Agricultural University, 2020, 41(1): 28-33.

异色瓢虫对草地贪夜蛾的捕食行为观察与评价

刘本菊, 秦得强, 周游, 陈孝甜, 马千里, 徐汉虹, 张志祥
(天然农药与化学生物学教育部重点实验室/华南农业大学 农学院, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】探究天敌昆虫异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 对草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 的捕食潜力。【方法】在室内条件下评价异色瓢虫成虫和 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 1~2 龄幼虫的捕食能力, 观察并总结异色瓢虫的捕食行为特点。【结果】通过观察, 发现异色瓢虫捕食草地贪夜蛾幼虫主要经过静止、搜寻、试探、取食和爬行 5 种行为, 其中异色瓢虫成虫捕食 3 龄草地贪夜蛾幼虫时出现 3 对足抱握猎物的现象。异色瓢虫成虫和 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 1~2 龄幼虫的捕食功能反应符合 Holling II 模型。异色瓢虫成虫和 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的日最大捕食量分别为 196.08 和 161.29 头, 瞬时攻击率分别为 1.390 6 和 1.451 4, 处理时间分别为 0.005 1 和 0.006 2 d; 异色瓢虫成虫和 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的日最大捕食量分别为 65.36 和 41.84 头, 瞬时攻击率分别为 1.145 7 和 1.271 0, 处理时间分别为 0.015 3 和 0.023 9 d, 即异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食能力强于 4 龄幼虫。【结论】异色瓢虫对草地贪夜蛾有一定的潜在控害能力, 可用于防控草地贪夜蛾。

关键词: 异色瓢虫; 草地贪夜蛾; 捕食; 生物防治
中图分类号: S43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-411X(2020)01-0028-06

Observation and evaluation of predatory behavior of *Harmonia axyridis* on *Spodoptera frugiperda*

LIU Benju, QIN Deqiang, ZHOU You, CHEN Xiaotian, MA Qianli, XU Hanhong, ZHANG Zhixiang
(Key Laboratory of Natural Pesticide and Chemical Biology, Ministry of Education/College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: 【Objective】To investigate the predation potential of the natural enemies, *Harmonia axyridis*, to *Spodoptera frugiperda*. 【Method】The predation behavior of *H. axyridis* was observed in laboratory, and the predation abilities of *H. axyridis* adults and the 4th instar larvae to the 1st and 2nd instar larvae of *S. frugiperda* were evaluated. 【Result】The predatory behaviors of *H. axyridis* on *S. frugiperda* larvae included five behaviors of stationary, searching, testing, feeding and crawling. *H. axyridis* adult appeared three pairs of feet grasping its prey when preying on the 3rd instar larva of *S. frugiperda*. The predation function responses of *H. axyridis* adults and the 4th instar larvae to the 1st and the 2nd instar larvae of *S. frugiperda* were accorded with the Holling II model. For the 1st instar larvae of *S. frugiperda*, the maximum daily predation amounts of adults and the 4th instar larvae of *H. axyridis* were 196.08 and 161.29 individuals respectively, the rates of instantaneous attack were 1.390 6 and 1.451 4 respectively, and the handling time were 0.005 1 and 0.006 2 days respectively.

For the 2nd instar larvae of *S. frugiperda*, the maximum daily predation amounts of adults and the 4th instar larvae of *H. axyridis* were 65.36 and 41.84 individuals respectively, the rates of instantaneous attack were 1.145 7 and 1.271 0 respectively, and the handling time were 0.015 3 and 0.023 9 days respectively. The predation abilities of *H. axyridis* adults to *S. frugiperda* larvae were stronger than those of the 4th instar larvae of *H. axyridis*.
【Conclusion】*H. axyridis* has certain potential control ability on *S. frugiperda* and can be used for the prevention and control of *S. frugiperda*.

Key words: *Harmonia axyridis*; *Spodoptera frugiperda*; predation; biological control

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*, 属鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae, 又名草地夜蛾、秋黏虫, 是一种原产自美洲的迁飞性农业重大杂食性害虫^[1-5]。草地贪夜蛾食性广, 幼虫可取食 353 种植物, 其中禾本科 106 种, 菊科 31 种, 豆科 31 种^[4]。现已广泛分布于美洲、非洲, 并造成很大危害, 欧洲的德国、荷兰部分地区监测也发现该虫。我国自 2019 年 1 月在云南首次发现^[6], 目前已在 21 个省(市、区)发生为害^[7]。入侵我国的草地贪夜蛾主要是基因型为玉米型的群体^[8], 其幼虫危害苗期至抽穗期的玉米, 轻者造成叶片孔洞缺刻, 重者啃食玉米生长点, 甚至为害玉米穗轴, 严重影响我国玉米质量及产量^[9-10]。对草地贪夜蛾的防治, 除使用化学药剂外, 还应配合生物防治、物理防治、生态调控等方法, 以期达到对其的有效防控。在生物防治中, 利用天敌昆虫控制害虫数量是一种重要的防治手段, 并越来越受到人们的重视。草地贪夜蛾天敌资源丰富^[10], 国内外利用斑腹刺益蝽 *Podisus maculiventris* (Say)、黑刺益蝽 *Podisus nigrispinus* (Dallas)、短管赤眼蜂 *Trichogramma pretiosum* (Riley)、蠋蝽 *Arma chinensis* (Fallou)、益蝽 *Picromerus lewisi* (Scott) 等天敌昆虫防治草地贪夜蛾^[11-17]。国内鲜见有利用异色瓢虫防治草地贪夜蛾的报道。

异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas) 属鞘翅目 (Coleoptera), 瓢甲科 (Coccinellidae), 是一种重要的捕食性天敌昆虫, 除捕食蚜虫、介壳虫、螨等同翅目昆虫外, 还可捕食膜翅目、鞘翅目、双翅目等昆虫的幼虫和蛹^[18], 例如豌豆修尾蚜 *Megoura japonica* (Matsumura)、雪松长足大蚜 *Cinara cedri* (Mimeur)、枸杞木虱 *Poratrioza sinica* (Yang et Li)、茶短须螨 *Brevipalpus obovatus* (Donnadieu)、桃一点斑叶蝉 *Erythroneura sudra* (Distant)、黑松松干蚧 *Matsucoccus matsumurae* (Kuwana) 等害虫^[19-24], 且与鳞翅目幼虫也存在捕食关系, 其中与小菜蛾 *Plutella xylostella* (Linnaeus)、棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner)、美国白蛾 *Hyphantria cunea*

(Drury) 等害虫捕食关系已有报道^[25-27]。

为评价异色瓢虫对草地贪夜蛾的控害能力, 本文在室内开展了异色瓢虫成虫和 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 1、2、3 龄幼虫的捕食行为观察和对草地贪夜蛾 1、2 龄幼虫的捕食功能反应试验, 试验结果将为草地贪夜蛾的生物防治提供基础依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

草地贪夜蛾于 2019 年 5 月采自广东省广州市花都区玉米田, 并由华南农业大学天然农药与化学生物学教育部重点实验室室内人工饲料饲养 1 代以上。异色瓢虫在室内以豆蚜饲养。

1.2 试验条件

在直径为 9 cm 的培养皿内进行异色瓢虫成虫(羽化 5 d)和 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 1、2、3 龄幼虫的捕食行为观察和捕食功能反应试验。培养皿置于 (25±1) °C, 光照 16 h、暗 8 h 的培养箱中。

1.3 试验方法

1.3.1 异色瓢虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食行为观察

参照文献 [25] 方法, 采集新鲜洁净玉米叶片, 洗净晾干后放入培养皿内, 分别移入 110 头草地贪夜蛾 1 龄幼虫或 50 头 2 龄幼虫或 10 头 3 龄幼虫和 1 头经饥饿 24 h 处理的异色瓢虫成虫或 4 龄幼虫, 观察 3 h, 每个处理 5 个重复, 分别记录异色瓢虫成虫和 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 1、2 和 3 龄幼虫的捕食行为。

1.3.2 异色瓢虫对草地贪夜蛾 1、2 龄幼虫的捕食功能反应

在直径为 9 cm 的培养皿中, 接入草地贪夜蛾 1 龄或 2 龄幼虫, 再接入 1 头饥饿 24 h 处理的异色瓢虫成虫或 4 龄幼虫。设置草地贪夜蛾 1 龄幼虫密度梯度为 50、70、90、110、130 头/皿, 草地贪夜蛾 2 龄幼虫密度设置为 10、20、30、40、50 头/皿, 每个处理 5 个重复, 24 h 后检查草地贪夜蛾幼虫的存活量。为防止草地贪夜蛾幼虫自相残杀, 同时在培养皿内放入干净的玉米叶。

1.4 数据分析

捕食功能反应方程 (即 Holling II 型功能反应模型) 如下^[28-30]:

$$N_a=aNT_r/(1+aT_hN), \tag{1}$$

式中: N_a 为捕食草地贪夜蛾幼虫的数量; a 为捕食者对猎物的瞬时攻击率; N 为草地贪夜蛾幼虫的密度; T_r 为试验的总时间, 本试验时间为 24 h, 即 T_r 为 1 d; T_h 为处理时间 (即捕食者捕食 1 头猎物所用的时间)。

利用拟合 Holling II 型功能反应模型所得参数, 对异色瓢虫对草地贪夜蛾搜寻效应 (S) 依式 (2) 进行估算:

$$S=a/(1+aT_hN)。 \tag{2}$$

先用 Excel 2010 处理数据, 再使用 SPSS 17.0 分析并作图, 数据差异性采用 t 检验法。

2 结果与分析

2.1 异色瓢虫对草地贪夜蛾的捕食行为

通过观察, 异色瓢虫捕食草地贪夜蛾幼虫主要经过静止、搜寻、试探、取食和爬行 5 种行为。

异色瓢虫成虫释入环境中后立即快速爬行, 随机搜索猎物。试验条件下异色瓢虫成虫不同个体搜寻定位猎物的耗时不等。室内观察发现: 单头异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾 1 龄幼虫, 从搜寻到开始攻击最短用时 8 s (0.13 min), 最长用时 2 min; 对草地贪夜蛾 2 龄幼虫, 从搜寻到开始攻击最短用时 70 s (1.17 min), 最长用时 5 min。成虫搜寻到草地贪夜蛾 1~2 龄幼虫后, 先试探, 后用口器将草地贪夜蛾咬住并咀嚼进食, 且取食完全, 取食过程中也伴有静止休息。进食一头草地贪夜蛾 1 龄幼虫平均用时 0.5 min, 进食一头 2 龄幼虫平均用时 2.5 min (表 1)。

对于草地贪夜蛾 1~2 龄幼虫, 异色瓢虫 4 龄幼虫的捕食行为和成虫基本一致。异色瓢虫 4 龄幼虫

释入环境中后先静息片刻, 后快速爬行, 随机搜索猎物。当搜寻到草地贪夜蛾幼虫时, 先试探, 并迅速咬住。草地贪夜蛾幼虫被咬住后立即产生摆脱行为, 扭曲身体, 异色瓢虫 4 龄幼虫会向后边咬边拖拽这条草地贪夜蛾幼虫, 直至草地贪夜蛾不再剧烈挣扎后安静进食。从搜寻到开始攻击的最短用时 1.00 min, 最长用时 3.00 min。进食一头草地贪夜蛾 1 龄幼虫平均用时 2.00 min; 捕食 2 龄草地贪夜蛾幼虫搜寻时间最短 1.50 min, 最长 6.00 min, 进食一头 2 龄幼虫平均用时 4.00 min(表 1)。

对于草地贪夜蛾 3 龄幼虫, 异色瓢虫成虫和 4 龄幼虫的捕食行为有较大差异: 单头异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾 3 龄幼虫, 从搜寻到开始攻击时间最少用时 2.00 min, 最长用时 17.00 min。瓢虫成虫随机搜索猎物, 咬住猎物后, 草地贪夜蛾 3 龄幼虫扭曲身体反抗时, 异色瓢虫成虫会用一对前足进行钳制, 打斗厉害时会用 3 对足抱住草地贪夜蛾幼虫, 直至草地贪夜蛾不再挣扎再进食。进食一头草地贪夜蛾 3 龄幼虫平均用时 30 min。而异色瓢虫 4 龄幼虫对 3 龄草地贪夜蛾幼虫进行试探后便离开, 不再捕食 (表 1)。

综上可得, 异色瓢虫成虫可捕食草地贪夜蛾 1~3 龄幼虫, 异色瓢虫 4 龄幼虫只能捕食草地贪夜蛾 1~2 龄幼虫, 捕食能力存在一定差异, 结合表 2 可知: 异色瓢虫成虫日平均捕食草地贪夜蛾 1 龄幼虫 91 头、2 龄幼虫 35.33 头, 异色瓢虫 4 龄幼虫日平均捕食草地贪夜蛾 1 龄幼虫 83.67 头, 2 龄幼虫 30.33 头, 且异色瓢虫成虫和 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 1~2 龄幼虫的日捕食量存在显著差异, 即异色瓢虫成虫>异色瓢虫 4 龄幼虫。

2.2 异色瓢虫对草地贪夜蛾的捕食功能反应

异色瓢虫成虫和 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫的捕食功能反应均符合 Holling II 模型。由表 3 可知, 异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾幼虫

表 1 异色瓢虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食行为参数¹⁾
Table 1 Predation behavior parameters of *Harmonia axyridis* to *Spodoptera frugiperda* larvae min

草地贪夜蛾 <i>S. frugiperda</i>	$t_{\min}$		$t_{\max}$		$\bar{t}$	
	成虫	4龄幼虫	成虫	4龄幼虫	成虫	4龄幼虫
	Adult	The 4 th instar larvae	Adult	The 4 th instar larvae	Adult	The 4 th instar larvae
1龄幼虫 The 1 st instar larvae	0.13	1.00	2.00	3.00	0.50±0.09	2.00±0.13
2龄幼虫 The 2 nd instar larvae	1.17	1.50	5.00	6.00	2.50±0.17	4.00±0.20
3龄幼虫 The 3 rd instar larvae	2.00	—	17.00	—	30.00±1.50	—

1) $t_{\min}$ 和 $t_{\max}$ 分别为异色瓢虫最短和最长搜寻时间; $\bar{t}$ 为异色瓢虫平均进食时间; — 表示未观察到捕食现象
1) $t_{\min}$ and $t_{\max}$ were the shortest and longest searching time of *H. axyridis*, respectively; $\bar{t}$ was average eating time of *H. axyridis*; — indicated that no predation was observed

表 2 异色瓢虫对草地贪夜蛾 1、2 龄幼虫的日捕食量¹⁾

Table 2 Daily predation number of <i>Harmonia axyridis</i> to the 1 st or the 2 nd larvae of <i>Spodoptera frugiperda</i>			头
异色瓢虫 <i>H. axyridis</i>	1龄幼虫 The 1 st larvae	2龄幼虫 The 2 nd larvae	
成虫 Adults	91.00±1.54*	35.33±1.20*	
幼虫 Larvae	83.67±0.88	30.33±0.88	

1) *表示在 0.05 水平差异显著(*t* 检验)
1) * indicated significant difference at 0.05 level (*t* test)

表 3 异色瓢虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食功能反应参数¹⁾

Table 3 Functional response parameters of <i>Harmonia axyridis</i> to <i>Spodoptera frugiperda</i> larvae						
草地贪夜蛾 <i>S. frugiperda</i>	异色瓢虫 <i>H. axyridis</i>	功能反应方程 Functional response equation	<i>a</i>	<i>T_h</i> /d	<i>N_{a max}</i> /头	<i>R</i> ²
1龄幼虫 The 1 st instar larvae	成虫 Adults	$N_{a1}=1.390\ 6N/(1+0.007\ 1N)$	1.390 6	0.005 1	196.08	0.969 2
	幼虫 Larvae	$N_{a2}=1.451\ 4N/(1+0.009\ 0N)$	1.451 4	0.006 2	161.29	0.985 3
2龄幼虫 The 2 nd instar larvae	成虫 Adults	$N_{a3}=1.145\ 7N/(1+0.017\ 5N)$	1.145 7	0.015 3	65.36	0.978 6
	幼虫 Larvae	$N_{a4}=1.271\ 0N/(1+0.030\ 4N)$	1.271 0	0.023 9	41.84	0.964 8

1) N_{a1} 为异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的捕食量, N_{a2} 为异色瓢虫 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的捕食量, N_{a3} 为异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食量, N_{a4} 为异色瓢虫 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食量, N 为草地贪夜蛾幼虫的密度; a : 瞬时攻击率; T_h : 处理时间; $N_{a\ max}$: 日最大捕食量; R^2 : 相关系数
1) N_{a1} indicate the predation of adult of *H. axyridis* to the 1st larvae of *S. frugiperda*; N_{a2} indicate the predation of the 4th larvae of *H. axyridis* to the 1st larvae of *S. frugiperda*; N_{a3} indicate the predation of adult of *H. axyridis* to the 2nd larvae of *S. frugiperda*; N_{a4} indicate the predation of the 4th larvae of *H. axyridis* to the 2nd larvae of *S. frugiperda*; N indicate different densities of larvae of *S. frugiperda*. a : Instantaneous attack rate; T_h : Handling time; $N_{a\ max}$: Maximum daily predator capacity; R^2 : Correlation coefficient

的捕食功能反应方程为 $N_{a1}=1.390\ 6N/(1+0.007\ 1N)$, $N_{a2}=1.451\ 4N/(1+0.009\ 0N)$, $N_{a3}=1.145\ 7N/(1+0.017\ 5N)$ 和 $N_{a4}=1.271\ 0N/(1+0.030\ 4N)$, 其中: N_{a1} 为异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的捕食量, N_{a2} 为异色瓢虫 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的捕食量, N_{a3} 为异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食量, N_{a4} 为异色瓢虫 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食量。对于 1 龄草地贪夜蛾幼虫, 异色瓢虫成虫的瞬时攻击率 (a_1) 为 1.390 6, 捕食 1 头 1 龄草地贪夜蛾幼虫所需时间 (T_{h1}) 为 0.005 1 d, 理论最大日捕食量为 196.08 头; 异色瓢虫 4 龄幼虫的瞬时攻击率 (a_2) 为 1.451 4, 捕食 1 头 1 龄草地贪夜蛾幼虫所需时间 (T_{h2}) 为 0.006 2 d, 理论最大日捕食量为 161.29 头。对于 2 龄草地贪夜蛾幼虫, 异色瓢虫成虫的瞬时攻击率 (a_3) 为 1.145 7, 捕食 1 头 2 龄草地贪夜蛾幼虫所需时间 (T_{h3}) 为 0.015 3 d, 理论最大日捕食量为 65.36 头; 异色瓢虫 4 龄幼虫的瞬时攻击率 (a_4) 为 1.271 0, 捕食 1 头 2 龄草地贪夜蛾幼虫所需时间 (T_{h4}) 为 0.023 9 d, 理论最大日捕食量为 41.84 头。由表 3 还可得知, 对于同一龄期草地贪夜蛾幼虫, 异色瓢虫 4 龄幼虫的瞬时攻击率较成虫高, 但对应的处理猎物所用时间异色瓢虫 4 龄幼虫较成虫长, 结合理论最大日捕食量可知, 不论

草地贪夜蛾是 1 龄还是 2 龄, 异色瓢虫成虫的捕食能力都强于 4 龄幼虫。

2.3 异色瓢虫对草地贪夜蛾幼虫的搜寻效应

通过搜寻效应公式 $S=a/(1+aT_hN)$ 可得, $S_1=1.390\ 6/(1+0.007\ 1N)$, $S_2=1.451\ 4/(1+0.009\ 0N)$, $S_3=1.145\ 7/(1+0.017\ 5N)$, $S_4=1.271\ 0/(1+0.030\ 4N)$, 其中: S_1 为异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的搜寻效应, S_2 为异色瓢虫 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的搜寻效应, S_3 为异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的搜寻效应, S_4 为异色瓢虫 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的搜寻效应。将不同猎物密度 N 带入上面公式, 可得出异色瓢虫成虫和 4 龄幼虫对不同龄期草地贪夜蛾在不同密度下的搜寻效应 (图 1)。

由图 1 可知, 随着猎物密度的增加, 异色瓢虫成虫和 4 龄幼虫取食草地贪夜蛾 1~2 龄幼虫的搜寻效应而逐渐降低, 且对于同一龄期的猎物, 异色瓢虫 4 龄幼虫的搜寻效应均较异色瓢虫成虫低。对于 1 龄草地贪夜蛾幼虫, 虽异色瓢虫 4 龄幼虫的搜寻效应较异色瓢虫成虫稍低, 但二者的搜寻效应随猎物密度增加而下降的幅度相差不明显 (图 1A)。对于 2 龄草地贪夜蛾幼虫, 异色瓢虫 4 龄幼虫的搜寻效应随猎物密度增加而下降的幅度较成虫大 (图 1B)。

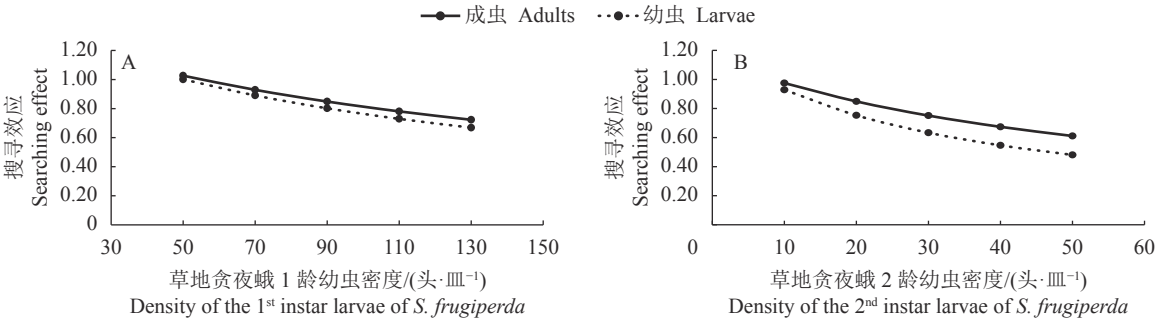


图 1 不同虫态异色瓢虫对草地贪夜蛾 1 龄幼虫 (A) 和 2 龄幼虫 (B) 不同密度下的搜寻效应

Fig. 1 Searching effect of different insect state of *Harmonia axyridis* on different densities of the 1st instar larvae(A) and the 2nd instar larvae(B) of *Spodoptera frugiperda*

3 讨论与结论

本研究采用室内试验的方法, 完成了异色瓢虫成虫和 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 1~2 龄幼虫的捕食行为观察和捕食功能反应试验。研究表明, 异色瓢虫成虫和 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 1~2 龄幼虫的捕食行为大致相同, 总体表现为静止、搜寻、试探、取食和爬行 5 种行为, 并将整头草地贪夜蛾幼虫全部吃下, 这与异色瓢虫捕食美国白蛾幼虫行为一致^[25], 但异色瓢虫成虫捕食草地贪夜蛾 3 龄幼虫时出现了 3 对足抱握猎物的捕食行为, 这与异色瓢虫一般用口器钳制猎物的行为有异, 推测是由于草地贪夜蛾幼虫较美国白蛾幼虫活泼的缘故, 且本试验中, 异色瓢虫成虫和 4 龄幼虫对草地贪夜蛾幼虫的进食时间明显短于异色瓢虫捕食美国白蛾幼虫的进食时间 (15~20 min)^[25]。

试验观察得出, 异色瓢虫成虫日平均捕食草地贪夜蛾 1 龄幼虫 91.00 头、2 龄幼虫 35.33 头, 异色瓢虫 4 龄幼虫日平均捕食草地贪夜蛾 1 龄幼虫 83.67 头, 2 龄幼虫 30.33 头, 即对于草地贪夜蛾 1~2 龄幼虫, 异色瓢虫成虫的捕食能力强于异色瓢虫 4 龄幼虫, 这与喻会平等^[31]通过不同虫态异色瓢虫对 3 种蚜虫的捕食功能反应试验结果相近。南俊科等^[25]的丽草岭 *Chrysopa founosa* (Brauer) 和异色瓢虫对美国白蛾的捕食作用研究也证明了这一点。

异色瓢虫成虫和 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 1~2 龄幼虫的捕食模型符合 Holling II 模型, 这一模型与异色瓢虫捕食其他害虫如蚜虫、枸杞木虱、桃一点斑叶蝉、小菜蛾、美国白蛾等的模型一致^[21-23, 25, 27, 31]。模型方程为 $N_{a1}=1.390\ 6N/(1+0.007\ 1N)$, $N_{a2}=1.451\ 4N/(1+0.009\ 0N)$, $N_{a3}=1.145\ 7N/(1+0.017\ 5N)$ 和 $N_{a4}=1.271\ 0N/(1+0.030\ 4N)$ 。 N_{a1} 、 N_{a2} 、 N_{a3} 和 N_{a4} 分别为异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾

1 龄幼虫、异色瓢虫 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 1 龄幼虫、异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫和异色瓢虫 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食量。方程参数显示, N_{a1} 、 N_{a2} 、 N_{a3} 和 N_{a4} 对应的瞬时攻击率分别为 1.390 6、1.451 4、1.145 7 和 1.271 0, 即异色瓢虫 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的瞬时攻击率最高 (1.451 4), 异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的瞬时攻击率最低 (1.145 7), 且对于同一虫龄的草地贪夜蛾幼虫, 异色瓢虫 4 龄幼虫的瞬时攻击率均强于成虫。但就处理时间 0.005 1、0.006 2、0.015 3 和 0.023 9 d 及理论日最大捕食量 196.08、161.29、65.36 和 41.84 头来看, 异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食能力强于 4 龄幼虫。此结论与室内观察结果一致。

异色瓢虫雌成虫、雄成虫和 4 龄幼虫对小菜蛾 2~3 龄幼虫的瞬时攻击率为 0.598 0、0.285 4 和 0.708 0, 理论日最大捕食量为 13.6、53.4 和 13.9 头^[27]; 异色瓢虫成虫和 4 龄幼虫对美国白蛾 1 龄幼虫的理论日最大捕食量为 49.47 和 10.21 头^[25], 异色瓢虫成虫和 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 1~2 龄幼虫的瞬时攻击率明显高于异色瓢虫雌成虫、雄成虫和 4 龄幼虫对小菜蛾 2~3 龄幼虫的瞬时攻击率, 在理论日最大捕食量上也有较大差异, 这在一定程度上说明, 与小菜蛾和美国白蛾相比异色瓢虫偏好草地贪夜蛾幼虫。

异色瓢虫成虫和 4 龄幼虫取食草地贪夜蛾 1~2 龄幼虫的搜寻效应随着猎物密度的增加而逐渐降低, 与丽草岭、蠋蝽、益蝽等捕食者搜寻效应一致^[15-17, 25], 且对于同一龄期的猎物, 异色瓢虫 4 龄幼虫的搜寻效应均较成虫低。对于草地贪夜蛾 2 龄幼虫, 异色瓢虫 4 龄幼虫的搜寻效应随猎物密度增加而下降的幅度较成虫大。

本试验通过研究异色瓢虫对草地贪夜蛾的捕食行为、功能反应模型、搜寻效应模型, 初步证明异

色瓢虫对草地贪夜蛾有一定的潜在控害能力。本试验是在室内条件下完成的, 还需在此基础上, 在田间条件下进一步研究异色瓢虫对草地贪夜蛾的控害潜能。

参考文献:

[1] TODD E L, POOLE R W. Keys and illustrations for the armyworm moths of the noctuid genus *Spodoptera gueneae* from the Western Hemisphere[J]. *Ann Entomol Soc Am*, 1998, 73(6): 722-738.

[2] SPARKS A N. A review of the biology of the fall armyworm[J]. *Fla Entomol*, 1979, 62(2): 82-86.

[3] JARROD T H, GUS M L, LEONARD B R. Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) ecology in southeastern cotton[J]. *J Inter Pest Manag*, 2015, 6(1): 1-8.

[4] MONTEZANO D G, SPECHT A, SOSA-GÓMEZ D R, et al. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas[J]. *Afr Entomol*, 2018, 26(2): 286-230.

[5] 孔德英, 孙涛, 滕少娜, 等. 草地贪夜蛾及其近似种的鉴定[J/OL]. 植物检疫, (2019-05-31)[2019-07-20]. <https://doi.org/10.19662/j.cnki.issn1005-2755.2019.04.010>.

[6] 全国农业技术推广服务中心. 全国农技中心关于印发《草地贪夜蛾测报调查方法(试行)》的通知[Z/OL]. (2019-03-01)[2019-07-20]. https://www.natesc.org.cn/Html/2019_03_01/28092_52304_2019_03_01_457510.html.

[7] 徐路易. 农业农村部: 严防草地贪夜蛾侵害: 虫情检测一日一报[Z/OL]. 澎湃新闻, (2019-07-19)[2019-07-20]. <http://news.sina.com.cn/o/2019-07-19/doc-ihytcerm4742852.shtml>.

[8] 张磊, 柳贝, 姜玉英, 等. 中国不同地区草地贪夜蛾种群生物型分子特征分析[J/OL]. 植物保护, (2019-06-17)[2019-07-20]. <https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2019296>.

[9] 郭井菲, 赵建周, 何康来, 等. 警惕危险性害虫草地贪夜蛾入侵中国[J]. 植物保护, 2018, 44(6): 1-10.

[10] 杨普云, 朱晓明, 郭井菲, 等. 我国草地贪夜蛾的防控对策与建议[J/OL]. 植物保护, (2019-05-29)[2019-07-20]. <https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2019260>.

[11] SHAPIRO J, LEGASPI J C. Assessing biochemical fitness of predator *Podisus maculiventris* (Heteroptera: Pentatomidae) in relation to food quality: Effects of five species of prey[J]. *Ann Entomol Soc Am*, 2006, 99(2): 321-326.

[12] MALAQUIAS J B, RAMALHO F S, OMOTO C, et al. Imidacloprid affects the functional response of predator *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) to strains of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) on Bt cotton[J]. *Ecotoxicology*, 2014, 23(2): 192-200.

[13] ZANUNCIO J C, SILVA C A, LIMA E R, et al. Predation rate of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctu-

idae) larvae with and without defense by *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae)[J]. *Braz Arch Biol Techn*, 2008, 51(1): 121-125.

[14] BÁRBARA D B, FRANCISCO S R, JOSÉ B M, et al. How predation by *Podisus nigrispinus* influenced by developmental stage and density of its prey *Alabama argillacea*[J]. *Entomol Exp Appl*, 2016, 158(2): 142-151.

[15] 唐艺婷, 王孟卿, 陈红印, 等. 益蝽对草地贪夜蛾的捕食能力评价和捕食行为观察[J/OL]. 中国生物防治学报, (2019-06-13)[2019-07-20]. <https://doi.org/10.16409/j.cnki.2095-039x.2019.04.005>.

[16] 王燕, 张红梅, 尹艳琼, 等. 蝽蝽成虫对草地贪夜蛾不同龄期幼虫的捕食能力[J/OL]. 植物保护, (2017-07-11)[2019-07-20]. <https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2019346>.

[17] 唐艺婷, 李玉艳, 刘晨曦, 等. 蝽蝽对草地贪夜蛾的捕食能力评价和捕食行为观察[J/OL]. 植物保护, (2019-06-04)[2019-07-20]. <https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2019264>.

[18] 王甦, 张润志, 张帆. 异色瓢虫生物生态学研究进展[J]. 应用生态学报, 2007, 18(9): 2117-2126.

[19] 程娟, 余燕, 王建盼, 等. 茶园天敌对花蓟马和茶短须螨的跟随效应研究[J]. 植物保护, 2018, 44(6): 99-106.

[20] 杨君. 利用生物及营林措施防治松干蚧[J]. 辽宁林业科技, 2000(6): 46-47.

[21] 巫鹏翔, 马宝旭, 徐婧, 等. 异色瓢虫成虫对枸杞木虱的捕食作用[J]. 植物保护学报, 2017, 44(4): 582-588.

[22] 杨春材, 赵益勤, 程德兵, 等. 异色瓢虫对桃粉大尾蚜、桃一点斑时蟬捕食选择性研究[J]. 应用生态学报, 1996, 7(增刊): 57-61.

[23] 王倩倩, 张卫光, 田恬, 等. 异色瓢虫对雪松长足大蚜的捕食作用[J]. 植物保护学报, 2019, 46(2): 458-464.

[24] 杜军利, 武德功, 黄保宏, 等. 异色瓢虫对豌豆修尾蚜的捕食功能反应[J]. 草业科学, 2018, 35(7): 1772-1779.

[25] 南俊科, 宋丽文, 左彤彤, 等. 丽草蛉和异色瓢虫对美国白蛾的捕食作用研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2019, 50(2): 161-166.

[26] 杨益众, 庞雄飞, 梁广文. 棉田优势天敌对棉铃虫种群的控制作用[J]. 生态学报, 2002, 22(4): 612-617.

[27] 陈元洲, 张大友, 张亚, 等. 小菜蛾主要捕食性天敌种类及捕食功能研究[J]. 河南职业技术学院学报, 2004, 32(3): 32-34.

[28] 王媛, 陈越, 张拯研, 等. 不同龄期异色瓢虫对烟蚜的捕食潜能研究[J]. 环境昆虫学报, 2015, 37(5): 1075-1080.

[29] 关晓庆. 异色瓢虫对枸杞蚜虫的捕食功能反应及选择[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(12): 2442-2445.

[30] HOLLING C S. Some characteristics of simple types of predation and parasitism[J]. *Can Entomol*, 1959, 91(7): 385-398.

[31] 喻会平, 王召, 龙贵云, 等. 不同虫态异色瓢虫对 3 种蚜虫的捕食功能反应[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(18): 86-90.

【责任编辑 李晓卉】