

不同温度下黄带犀猎蝽对 草地贪夜蛾的捕食能力*

王亚楠^{1,2**} 赵胜园³ 何运转² 王根松¹ 黄建荣¹
田彩虹¹ 李国平^{1***} 封洪强^{1***}

(1. 河南省农业科学院植物保护研究所, 河南省农作物病虫害防治重点实验室,
河南省 0 号昆虫雷达野外科学观测研究站, 郑州 450002; 2. 河北农业大学植物保护学院, 保定 071000;
3. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193)

摘要 【目的】为明确不同温度下黄带犀猎蝽 *Sycanus croceovittatus* 对草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 的捕食作用。【方法】在 15、20、25、30 和 35 °C 下分别设置不同密度的草地贪夜蛾 2 龄幼虫供黄带犀猎蝽捕食, 观察黄带犀猎蝽 2 龄、5 龄若虫及成虫捕食行为并统计其捕食量, 研究不同温度下黄带犀猎蝽对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食功能反应。【结果】黄带犀猎蝽 2 龄、5 龄若虫及成虫捕食草地贪夜蛾 2 龄幼虫时均用口针拖拽并吸食猎物体液完成取食。黄带犀猎蝽的捕食能力与温度关系密切, 15 和 20 °C 时黄带犀猎蝽的捕食量较低甚至不捕食。25–35 °C 范围内, 黄带犀猎蝽 2 龄若虫、5 龄若虫和成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫捕食作用符合 Holling II 功能反应模型。黄带犀猎蝽 2 龄若虫、5 龄若虫、雌成虫和雄成虫在 30 °C 时日最大捕食量达到最大值, 分别为 12.05、66.67、100.00 和 52.63 头; 在 30 °C 时处理时间分别为 0.08、0.02、0.01 和 0.02 d。【结论】黄带犀猎蝽在 30 °C 条件下对草地贪夜蛾捕食能力最强, 本研究可为田间草地贪夜蛾的生物防治提供技术支撑。

关键词 黄带犀猎蝽; 草地贪夜蛾; 温度; 捕食作用

The predatory capacity of *Sycanus croceovittatus* on *Spodoptera frugiperda* at different temperatures

WANG Ya-Nan^{1,2**} ZHAO Sheng-Yuan³ HE Yun-Zhuan² WANG Gen-Song¹
HUANG Jian-Rong¹ TIAN Cai-Hong¹ LI Guo-Ping^{1***} FENG Hong-Qiang^{1***}

(1. Henan Key Laboratory of Crop Pest Control, Institute of Plant Protection, Entomological Radar Station Zero of Henan Province for Field Scientific Observation and Research, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China; 2. College of Plant Protection, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China;
3. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract 【Objectives】To determine the effect of temperature on the predation of *Sycanus croceovittatus* on *Spodoptera frugiperda*. 【Methods】Second and 5th instar nymphs, females and males of *S. croceovittatus* were allowed to prey on different densities of 2nd instar *S. frugiperda* larvae at 15, 20, 25, 30 and 35 °C. Predation was observed and the amount of prey was calculated to determine the predation function at each temperature. 【Results】Predation was significantly affected by temperature; predation was low at 15 °C and 20 °C, but at 25–35 °C predation by 2nd and 5th instar *S. croceovittatus* nymphs,

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划 (2021YFD1400705-7); 河南省重大科技专项 (201300111500); 河南省农业科学院科技创新团队 (2024TD30)

**第一作者 First author, E-mail: 731787422@qq.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: liguoping1976@163.com; feng_hq@163.com

收稿日期 Received: 2022-09-28; 接受日期 Accepted: 2023-02-15

and by adults approximated the Holling II functional response model. Maximum predation by 2nd and 5th instar nymphs and adult females and males (12.05, 66.67, 100.00, and 52.63, respectively, handling time 0.08, 0.02, 0.01 and 0.02 d) were observed at 30 °C. [Conclusion] The highest level of predation by *S. croceovittatus* on *S. frugiperda* was observed at 30 °C

Key words *Sycanus croceovittatus*; *Spodoptera frugiperda*; temperature; predation

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 又称秋粘虫, 属鳞翅目 Lepidoptera, 夜蛾科 Noctuidae, 是新入侵我国的一种重大农业害虫, 具有寄主范围广, 适生能力强, 为害程度重, 防控难度大等特点 (郭井菲等, 2019; 吴孔明, 2020), 2020 年 9 月被农业农村部列入《一类农作物病虫害名录》, 是我国粮食生产的重大致灾生物。草地贪夜蛾幼虫取食玉米叶片、雄穗、籽粒, 一般可造成玉米达减产 20%-40%, 严重时减产达 70% (Murúa and Coviella, 2006; Wyckhuys and Neil, 2006; Early *et al.*, 2018)。自 2018 年 12 月该虫入侵我国后, 我国采用了以化学防治为主的应急防控技术, 取得了显著成效, 保障了我国粮食的安全生产。然而, 当前, 草地贪夜蛾已经在我国南方定殖, 并且形成了“北迁南回、周年循环”的发生特点 (齐国君等, 2020a, 2020b)。如果长期实施应急防治, 存在着投入成本高、食品和环境安全风险高等问题 (吴孔明, 2020)。草地贪夜蛾的绿色防控技术是实现农业绿色高质量发展的重要措施, 而天敌昆虫是有效替代或辅助化学防治, 实现对草地贪夜蛾的高效绿色防控的可持续防治手段之一。

草地贪夜蛾的天敌昆虫资源丰富, 其中, 捕食性蝽占目前发现草地贪夜蛾的捕食性天敌昆虫总数的 41%, 主要包括猎蝽科、长蝽科、花蝽科、姬蝽科和蝽科 (唐璞等, 2019)。美国利用狡诈小花蝽 *Orius insidiosus*、沼泽大眼长蝽 *Geocoris uliginosus*、斑足大眼长蝽 *G. punctipes*、黑刺益蝽 *Podisus nigrispinus* 和佛州优捕蝽 *Euthyrhynchus floridanus* 防治草地贪夜蛾, 取得了明显成效 (Joseph and Braman, 2009; Malaquias *et al.*, 2014; Medal *et al.*, 2017)。斑腹刺益蝽 *P. maculiventris* 在巴西对草地贪夜蛾也有良好的防治效果 (Shapiro and Crisostomo, 2006)。我国研究者对多种捕食性天敌, 包括蠊

蝽 *Arma chinensis*、益蝽 *Picromerus lewisi*、叉角厉蝽 *Eocanthecona furcellata*、东亚小花蝽 *O. sauteri* 以及大红犀猎蝽 *Sycanus falleni* 对草地贪夜蛾的捕食潜力也进行了研究, 结果表明这三种捕食蝽对草地贪夜蛾低龄幼虫和高龄幼虫均具有较强的捕食能力 (王燕等, 2019a, 2019 b; 侯峥嵘等, 2020; 潘应拿等, 2020; 孙贝贝等, 2020)。

黄带犀猎蝽 *S. croceovittatus*, 属半翅目 Hemiptera, 猎蝽科 Reduviidae, 是一种重要的捕食性天敌, 分为卵、若虫和成虫 3 个虫态, 若虫共 5 个龄期 (王亚楠等, 2021)。前期调查发现, 黄带犀猎蝽在云南玉米田可以捕食草地贪夜蛾幼虫, 在室内 25 °C 下 4 和 5 龄若虫对草地贪夜蛾 3 龄幼虫具有较强的捕食作用 (王亚楠等, 2020), 而温度对黄带犀猎蝽捕食能力的影响尚不明确, 为此, 我们研究了不同温度下黄带犀猎蝽对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食作用, 以期为该天敌在田间应用提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

黄带犀猎蝽采自云南省江城县宝藏镇水城村玉米田 (101°38'34"E, 22°41'16"N), 在室内用草地贪夜蛾幼虫饲喂并建立稳定种群。草地贪夜蛾 2019 年采自河南省信阳市明港镇玉米田 (114°5'23"E, 32°24'42"N), 在室内用人工饲料饲养繁殖多代。黄带犀猎蝽和草地贪夜蛾饲养于人工气候箱 (莱福 PQX 型), 温度 (26 ± 1) °C、光周期 L : D = 16 : 8、相对湿度 75 % ± 5%。

1.2 不同温度下黄带犀猎蝽对草地贪夜蛾的捕食作用

试验设置 15、20、25、30 和 35 °C 共 5 个恒温处理, 选取同一天完成取食的同日龄黄带犀

猎蝽低龄(2龄)若虫、高龄(5龄)若虫及雌雄成虫单头置于养虫盒(低龄若虫:上直径23 cm,下直径15 cm,高7.5 cm;高龄若虫及雌雄成虫:上直径30 cm,下直径20 cm,高8.5 cm)内饥饿3 d,期间仅放入浸泡清水的脱脂棉为黄带犀猎蝽提供水分。若虫龄期和雌雄成虫鉴别方法详见王亚楠等(2021)。养虫盒置于人工气候箱(莱福PQX型),湿度 $75\% \pm 5\%$,光周期L:D=16:8。3 d后放入不同密度的2龄草地贪夜蛾幼虫,黄带犀猎蝽2龄若虫猎物密度梯度设置为2、4、6、8、10和12头/盒,5龄若虫及雌雄成虫猎物密度为10、20、30、40、50和60头/盒。养虫盒中放入人工饲料为草地贪夜蛾幼虫提供食物。每个处理重复5次。观察黄带犀猎蝽对草地贪夜蛾2龄幼虫的取食行为并在24 h后检查草地贪夜蛾幼虫的存活数量。

1.3 数据处理

捕食功能反应方程 $N_a = aNT_r/(1 + aT_rN)$ (Holling, 1959), 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 是草地贪夜蛾幼虫的密度, T_r 是试验所用时间,

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,日最大捕食量推算为 T/T_h 。用Excel2010和SPSS21.0对所有试验数据进行处理,并拟合圆盘方程,用卡平方检验来验证不同处理的黄带犀猎蝽对草地贪夜蛾的取食是否符合Holling II功能反应模型,采用Duncan氏新复极差法进行捕食量的差异性显著性检验。

2 结果与分析

2.1 黄带犀猎蝽对草地贪夜蛾2龄幼虫的捕食行为观察

黄带犀猎蝽2龄、5龄若虫及成虫捕食草地贪夜蛾2龄幼虫时搜寻到猎物后将口针刺入猎物体内并释放毒素使猎物麻痹再吸食体液,猎物随之干瘪。黄带犀猎蝽取食过程中,口针始终刺入猎物体内,并携带猎物行走,多拖拽至高处完成取食,取食部位随机。黄带犀猎蝽饱食后腹部鼓起,5龄若虫和成虫取食草地贪夜蛾2龄幼虫只剩表皮,2龄若虫取食2龄草地贪夜蛾有时不会将其取食至完全干瘪,而是短时间吸食后收回口针,攻击下一头猎物(图1)。

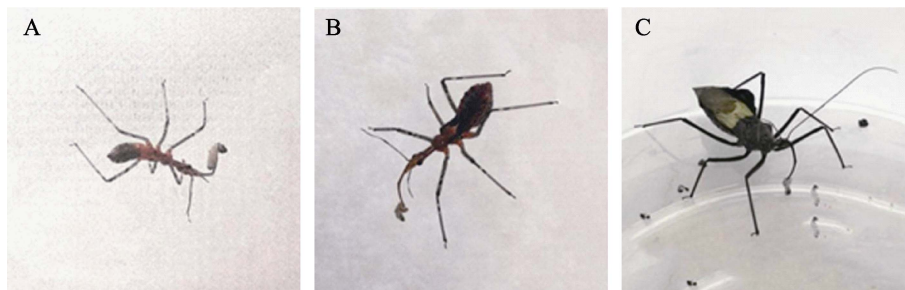


图1 黄带犀猎蝽取食草地贪夜蛾2龄幼虫

Fig. 1 *Sycanus croceovittatus* preying on 2nd instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

- A. 黄带犀猎蝽2龄若虫取食草地贪夜蛾2龄幼虫; B. 黄带犀猎蝽5龄若虫取食草地贪夜蛾2龄幼虫;
C. 黄带犀猎蝽雄成虫取食草地贪夜蛾2龄幼虫。

A. 2nd instar nymph of *S. croceovittatus* preying on *S. frugiperda* 2nd instar larvae;

B. 5th instar nymph of *S. croceovittatus* preying on *S. frugiperda* 2nd instar larvae;

C. Male adult of *S. croceovittatus* preying on *S. frugiperda* 2nd instar larvae.

2.2 不同温度下黄带犀猎蝽对草地贪夜蛾2龄幼虫的日平均捕食量

黄带犀猎蝽2龄若虫对草地贪夜蛾2龄幼虫

的日平均捕食量与温度的关系密切(表1)。在15和20℃低温下,黄带犀猎蝽取食量较少,15℃时,黄带犀猎蝽2龄若虫对草地贪夜蛾2龄幼虫的日平均捕食量最大为0.40头;20℃时,

表 1 不同温度下黄带犀猎蝽 2 龄若虫对不同密度草地贪夜蛾 2 龄幼虫的日平均捕食量
Table 1 Average daily preyed number of the 2nd instar larvae of *Spodoptera frugiperda* by *Sycanus croceovittatus* 2nd instar nymph at different temperatures

温度 (°C) Temperature (°C)	猎物密度 (头/盒) Preys density (ind./ box)					
	2	4	6	8	10	12
15	0.40 ± 0.80 A b	0.20 ± 0.40 A b	0.00 ± 0.00 A c	0.20 ± 0.40 A c	0.00 ± 0.00 A c	0.20 ± 0.40 A c
20	0.40 ± 0.80 A b	0.60 ± 0.80 A b	1.00 ± 1.26 A c	0.00 ± 0.00 A c	1.00 ± 1.26 A c	1.00 ± 1.26 A c
25	1.60 ± 0.49 C a	2.40 ± 1.02 BC a	2.80 ± 0.75 BC b	3.80 ± 1.33 AB b	4.60 ± 0.80 A b	4.40 ± 1.20 A b
30	2.00 ± 0.00 C a	2.60 ± 0.80 C a	4.60 ± 1.36 B a	5.60 ± 0.50 B a	7.20 ± 1.60 A a	7.40 ± 0.49 A a
35	1.40 ± 0.49 C a	2.80 ± 0.98 BC a	3.60 ± 1.02 AB ab	3.40 ± 0.49 AB b	4.00 ± 1.10 AB b	5.00 ± 2.19 A b

表中数据为平均值 ± 标准误, 同行数据后不同大写字母表示在同一温度不同猎物密度条件下捕食量差异显著, 同列数据后不同小写字母表示在同一猎物密度不同温度下捕食量差异显著 (Duncan 氏新复极差法, $\alpha = 0.05$)。表 2 同。
Data were mean ± SE, data in the same row followed by different uppercase letters indicate significant differences in the same temperature at different prey density conditions, data in the same column followed by different lowercase letters indicate significant differences in the same prey density at different temperature conditions (Duncan's multiple range tests, $\alpha = 0.05$). The same as table 2.

黄带犀猎蝽 2 龄若虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的日平均捕食量最大为 1.00 头, 且不同密度下的取食量无显著差异 (15 °C: $F=0.486$, $df=5, 29$, $P=0.783$; 20 °C: $F=0.674$, $df=5, 29$, $P=0.647$)。在 15-35 °C 下, 当猎物密度相同时, 随着温度升高, 黄带犀猎蝽对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的日平均捕食量总体呈现逐渐增大趋势, 30 °C 时达到最大值 7.40 头, 再升高温度到 35 °C 时, 捕食量显著降低 ($P<0.05$)。

黄带犀猎蝽 5 龄若虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的日平均捕食量与温度的关系见表 2。15 和 20 °C 低温下, 黄带犀猎蝽 5 龄若虫取食量较少, 且不同密度下无显著差异 (15 °C: $F=0.746$, $df=5, 29$, $P=0.597$; 20 °C: $F=0.759$, $df=5, 29$, $P=0.588$)。15 °C 时, 5 龄若虫捕食量最大值为 0.80 头; 20 °C 时, 黄带犀猎蝽 5 龄若虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的日平均捕食量最高为 1.80 头。在 15-35 °C 下, 当猎物密度相同时, 随着温度升高, 黄带犀猎蝽 5 龄若虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的日平均捕食量总体呈现逐渐增大趋势, 30 °C 时达到最大值 26.80 头 ($P<0.05$)。

与黄带犀猎蝽 5 龄若虫取食类似 (表 2), 15 °C 和 20 °C 低温下, 黄带犀猎蝽雌雄成虫取食量也较少, 且不同密度下无显著差异 (雌成虫: 15 °C: $F=1.856$, $df=5, 29$, $P=0.140$; 20 °C:

$F=1.350$, $df=5, 29$, $P=0.278$; 雄成虫: 15 °C: $F=0.533$, $df=5, 29$, $P=0.749$; 20 °C: $F=0.586$, $df=5, 29$, $P=0.710$)。在 15-35 °C 下, 当猎物密度相同时, 随着温度升高, 黄带犀猎蝽雌雄成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的日平均捕食量总体呈现逐渐增大趋势, 30 °C 时达到最大值, 雌成虫取食量最高为 30.20 头, 雄成虫取食量最高为 31.80 头 ($P<0.05$)。

猎物密度对黄带犀猎蝽捕食草地贪夜蛾 2 龄幼虫的日平均捕食量影响显著 (表 1, 表 2)。在 15-35 °C 范围内, 同一温度条件下, 随着草地贪夜蛾的密度增加, 黄带犀猎蝽捕食量整体呈上升趋势, 且不同密度之间的日平均捕食量具有显著差异 ($P<0.05$), 但当猎物密度达到一定程度时, 其捕食量逐渐趋于饱和趋势。

2.3 不同温度下黄带犀猎蝽对草地贪夜蛾的捕食功能反应

在 25-35 °C 范围内, 黄带犀猎蝽 2 龄若虫、5 龄若虫及雌雄成虫对 2 龄草地贪夜蛾幼虫的捕食功能反应经卡平方检验均符合 Holling II 圆盘方程 (表 3)。黄带犀猎蝽 2 龄若虫的日最大捕食量在 30 °C 时为最大值 12.05 头; 不同温度下 5 龄若虫及雌雄成虫的日最大捕食量顺序依次为 30 °C > 25 °C > 35 °C, 分别为 66.67、100.00、

52.63 头; 45.46、58.82、43.48 头; 41.67、55.56、41.67 头。黄带犀猎蝽 5 龄若虫和雌雄成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的处理时间在 30℃ 时分别为 0.02、0.01 和 0.02 d (表 3)。

表 2 不同温度下黄带犀猎蝽 (5 龄若虫和雌雄成虫) 对不同密度草地贪夜蛾 2 龄幼虫的日平均捕食量

Table 2 Average daily preyed number of the 2nd instar larvae of *Spodoptera frugiperda* by *Sycanus croceovittatus* 5th instar nymph and adults at different temperatures

虫态 Stage	温度 (°C) Temperature (°C)	猎物密度 (头/盒) Preys density (ind./ box)					
		10	20	30	40	50	60
5 龄若虫 5th instar nymph	15	0.00±0.00 A b	0.00±0.00 A b	0.60±1.20 A c	0.80±1.60 A b	0.00±0.00 A	0.80±1.17 A b
	20	0.20±0.40 A b	1.80±3.12 A b	0.00±0.00 A c	1.60±1.96 A b	0.60±0.80 A b	1.80±2.71 A b
	25	8.60±0.80 D a	15.80±1.72 C a	18.80±1.94 BC a	25.60±5.31 A a	22.00±4.24 AB a	25.20±4.66 A a
	30	7.20±1.17 C a	15.20±2.99 B a	20.80±4.79 AB a	26.80±3.97 A a	23.80±5.38 A a	24.80±9.95 A a
	35	7.00±1.41 C a	12.00±2.53 B a	14.00±2.76 B b	22.40±4.13 A a	20.60±1.74 A a	22.00±3.58 A a
雌成虫 Female adult	15	0.40±0.80 A c	0.00±0.00 A b	0.00±0.00 A c	1.60±1.85 A b	0.00±0.00 A b	1.40±1.74 A b
	20	0.00±0.00 A c	0.00±0.00 A b	1.00±1.10 A c	2.60±3.88 A b	2.80±3.43 A b	0.40±0.80 A b
	25	9.20±0.40 C a	16.80±1.17 B a	19.40±2.94 B b	27.40±4.96 A a	26.00±7.77 A a	31.60±4.96 A a
	30	8.20±0.75 C ab	16.60±1.02 B a	26.40±1.85 A a	30.20±6.82 A a	29.00±4.77 A a	28.60±4.45 A a
	35	8.00±0.89 C b	14.60±2.58 BC a	21.80±4.62 AB b	24.60±6.41 A a	26.00±8.41 A a	26.40±3.67 A a
雄成虫 Male adult	15	0.20±0.40 A c	0.00±0.00 A c	0.60±1.20 A b	0.00±0.00 A b	0.80±1.60 A b	0.40±0.80 A c
	20	0.00±0.00 A c	0.80±0.98 A c	0.00±0.00 A c	1.80±3.12 A b	1.60±3.20 A b	1.20±1.94 A c
	25	8.40±1.02 C ab	16.20±1.94 B a	18.40±4.76 B a	25.40±4.13 B a	21.80±5.81 B a	22.40±4.84 A b
	30	8.80±1.17 C a	12.20±2.04 C b	20.80±2.04 B a	26.60±1.50 B a	24.60±4.41 B a	31.80±8.49 A a
	35	7.00±1.10 D a	13.40±1.20 C b	16.20±2.86 BC a	22.00±6.10 A a	20.00±5.62 AB a	22.40±2.24 A b

表 3 黄带犀猎蝽对 2 龄草地贪夜蛾的捕食功能反应

Table 3 Functional responses of *Sycanus croceovittatus* to the 2nd instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

虫态 Stage	温度 (°C) Temperature (°C)	捕食功能方程 Functional response equation	瞬时攻击率 a Attacking efficiency	处理时间 (d) Handling time (d)	日最大捕食量	R^2
					(头) Maximum prey consumed daily (ind.)	
2 龄若虫 2nd instar nymph	25	$N_a = 1.026N / (1 + 0.156N)$	1.03	0.15	6.58	0.970
	30	$N_a = 1.095N / (1 + 0.091N)$	1.10	0.08	12.05	0.757
	35	$N_a = 0.761N / (1 + 0.091N)$	0.76	0.12	8.40	0.649
5 龄若虫 5th instar nymph	25	$N_a = 1.082N / (1 + 0.024N)$	1.08	0.02	45.46	0.978
	30	$N_a = 0.818N / (1 + 0.012N)$	0.82	0.02	66.67	0.775
	35	$N_a = 0.794N / (1 + 0.019N)$	0.79	0.02	41.67	0.804
雌成虫 Female adult	25	$N_a = 1.104N / (1 + 0.019N)$	1.10	0.02	58.82	0.988
	30	$N_a = 0.907N / (1 + 0.009N)$	0.91	0.01	100.00	0.919
	35	$N_a = 0.936N / (1 + 0.017N)$	0.94	0.02	55.56	0.838
雄成虫 Male adult	25	$N_a = 1.080N / (1 + 0.025N)$	1.08	0.02	43.48	0.961
	30	$N_a = 1.129N / (1 + 0.021N)$	1.13	0.02	52.63	0.918
	35	$N_a = 0.839N / (1 + 0.020N)$	0.84	0.02	41.67	0.847

3 讨论

本研究结果表明,黄带犀猎蝽 2 龄、5 龄若虫及成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食行为与黄带犀猎蝽 4 龄、5 龄若虫对草地贪夜蛾 3 龄幼虫的捕食行为接近一致(王亚楠等, 2020),均用口针拖拽并吸食猎物体液完成取食,但由于草地贪夜蛾 2 龄幼虫形体较 3 龄幼虫小,且与 5 龄若虫及成虫捕食者形体大小悬殊,其捕食行为与黄带犀猎蝽 4、5 龄若虫取食 3 龄幼虫行为相比不会发生短暂取食现象,而是将猎物吸食干瘪至只剩表皮后再收回口针,寻找下一头猎物。黄带犀猎蝽高龄若虫及成虫捕食草地贪夜蛾 2 龄幼虫的行为与蠋蝽捕食草地贪夜蛾的捕食行为相似,一旦将口针插入草地贪夜蛾幼虫虫体便持续吸食猎物体液直至草地贪夜蛾幼虫只剩表皮,呈干瘪状态(唐艺婷等, 2019a)。但是黄带犀猎蝽高龄若虫捕食草地贪夜蛾 3 龄幼虫时,有时并不吸食完全,而是继续攻击其他猎物,该特点与益蝽高龄若虫捕食草地贪夜蛾高龄幼虫的捕食特点相似,只发生短暂吸食猎物现象(唐艺婷等, 2019b; 王亚楠等, 2020)。

在相似温度下,黄带犀猎蝽 5 龄若虫捕食草地贪夜蛾 3 龄幼虫时日最大捕食量为 3.83 头(王亚楠等, 2020),而对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的日最大捕食量高达 45.46 头,表明天敌昆虫的捕食能力与猎物龄期相关,天敌捕食量会随猎物龄期发生变化。例如益蝽和蠋蝽成虫对草地贪夜蛾 3 龄幼虫的日捕食量可达 60 头左右,对 4 龄和 5 龄幼虫的日捕食量为 20-30 头,对 6 龄幼虫的日捕食量降为 8-9 头(唐艺婷等, 2019a, 2019b; 王燕等, 2019a, 2019b)。同一密度下黄带犀猎蝽 5 龄若虫及雌雄成虫可大量捕食草地贪夜蛾 2 龄幼虫,且捕食量整体上由大到小呈现为雌成虫、5 龄若虫、雄成虫,此结果可能与 5 龄若虫羽化和雌成虫卵巢发育所需营养物质较多有关。

温度是影响天敌昆虫捕食量的重要因素之一。本研究表明,黄带犀猎蝽在 15 °C 和 20 °C 下取食量较低且均发生不取食现象,因此,低温会抑制黄带犀猎蝽取食猎物。此外,相同密度下,

在 15-35 °C 范围内,随着温度的升高,黄带犀猎蝽对草地贪夜蛾日平均捕食量整体呈现随温度的升高而增大的趋势,但当温度高于 30 °C 时,其捕食量趋于饱和或出现下降,这与其他天敌的捕食情况相似(崔晓宁等, 2011; Messelink *et al.*, 2011; 朱亮等, 2015)。因此,30 °C 是黄带犀猎蝽捕食的最适温度。此结果与黄带犀猎蝽不同温度下的发育历期和耐饥力情况相呼应(待发表数据),低温下黄带犀猎蝽发育时间较长且耐饥力较强,对食物的需求量较低,取食量则相应减少。反之,温度升高,黄带犀猎蝽营养需求增大从而取食量增多,发育更快。黄带犀猎蝽在温度过高(35 °C)时不能完成生长发育,即黄带犀猎蝽并不适应高温环境,因此相比 25 °C 和 30 °C 下的取食量则相应减少。因此,在田间释放应用时,室外温度高于 35 °C 或低于 20 °C 都不利于黄带犀猎蝽发挥控害作用。

不同温度下,黄带犀猎蝽捕食量与草地贪夜蛾密度之间关系存在差异。在 15 °C 与 20 °C 下,黄带犀猎蝽 2 龄若虫、5 龄若虫及雌雄成虫的日平均捕食量与草地贪夜蛾 2 龄幼虫密度不符合功能反应模型,但在 25-35 °C 下,其与 Holling II 功能反应模型高度符合,且不同温度下的功能反应参数不同,黄带犀猎蝽 2 龄若虫和 5 龄若虫,雌成虫和雄成虫在 25、30 和 35 °C 的最大捕食量分别为 6.58、45.46、58.82、43.48 头; 12.05、66.67、100.00、52.63 头; 8.40、41.67、55.56、41.67 头。黄带犀猎蝽 5 龄若虫和成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的处理时间在 30 °C 时最短,进一步证实了 30 °C 下黄带犀猎蝽的捕食能力最强。相近温度下,大草蛉成虫和七星瓢虫成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的日最大捕食量分别为 10.31 和 41.22 头(孔琳等, 2019; 邹运鼎等, 1999),可见黄带犀猎蝽对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食能力更强,雌成虫的日最大捕食量可以达到 100.00 头。

黄带犀猎蝽饲养过程中发现,在 25 °C 常温下,该虫完成一次饱食后可在 1-3 d 后再进行下一次取食,本实验前期通过对黄带犀猎蝽成虫进行不同天数的饥饿处理,观察后得知黄带犀猎蝽

成虫在完成一次饱食后饥饿 1 d 后几乎不取食, 饥饿 3 d 后一定会取食, 因此, 本试验选择将黄带犀猎蝽饥饿 3 d 使其充分饥饿后再进行捕食试验, 以探明其最大捕食潜力。

天敌昆虫的捕食作用还受很多其他因素影响, 如捕食空间、环境湿度、猎物种类及自身生物学特性等(胡长效等; 2019; 孔琳, 2019; 周娟等, 2020)。玉米田常有多种害虫共同发生和为害(李国平等, 2019), 还需要对玉米田其他害虫捕食作用进行评价。此外, 湿度也是影响天敌昆虫捕食能力的重要因素。黄带犀猎蝽的栖息地多为高湿气候, 研究不同湿度对黄带犀猎蝽捕食草地贪夜蛾的影响可为后续田间释放黄带犀猎蝽提供理论基础。从天敌的发现到真正在生产上应用, 还需经历较长时间的研究和筛选, 因此, 应进一步对黄带犀猎蝽人工饲料、田间扩散能力、对寄主的搜寻能力以及田间释放标准等进行研究, 以期为我国草地贪夜蛾的生物防治提供技术支持。

参考文献 (References)

- Cui XN, Zhang YL, Shen HM, Zhang XH, 2011. The predatory function of *Amblyseius barkeri* on *Tetranychus truncatus*. *Journal of Plant Protection*, 38(6): 575–576. [崔晓宁, 张亚玲, 沈慧敏, 张新虎, 2011. 巴氏钝绥螨对截形叶螨的捕食作用. 植物保护学报, 38(6): 575–576.]
- Early R, Gonzalez-Moreno P, Murphy ST, Day R, 2018. Forecasting the global extent of invasion of the cereal pest *Spodoptera frugiperda*, the fall armyworm. *NeoBiota*, 40(40): 25–50.
- Guo JF, He KL, Wang ZY, 2019. Biological characteristics, trend of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*, and the strategy for management of the pest. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(3): 361–369. [郭井菲, 何康来, 王振营, 2019. 草地贪夜蛾的生物学特性、发展趋势及防控对策. 应用昆虫学报, 56(3): 361–369.]
- Hu CX, Cao D, Xu WT, 2019. Effect of different temperatures and spatial scales on predation of *Coccus hesperidum* by *Propylaea japonica*. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 48(12): 73–78. [胡长效, 曹丹, 徐万泰, 2019. 不同温度和空间对龟纹瓢虫捕食褐软蚧的影响. 河南农业科学, 48(12): 73–78.]
- Holling CS, 1959. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *Canadian Entomologist*, 91(7): 385–398.
- Hou ZR, Sun BB, Liu XJ, Yin Z, Li JP, Guo XH, 2020. Predatory functional response of assassin bug *Sycanus falleni* to the larvae of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. *Journal of Plant Protection*, 47(4): 852–858. [侯峥嵘, 孙贝贝, 刘先建, 尹哲, 李金萍, 郭喜红, 2020. 大红犀猎蝽对草地贪夜蛾 3 龄幼虫捕食功能反应. 植物保护学报, 47(4): 852–858.]
- Joseph SV, Braman SK, 2009. Predatory potential of *Geocoris* spp. and *Orius insidiosus* on fall Armyworm in resistant and susceptible Turf. *Journal of Economic Entomology*, (3): 3.
- Kong L, Li YY, Wang MQ, Liu CX, Mao JJ, Chen HY, Zhang LS, 2019. Predation of *Coccinella septempunctata* on young larvae of *Spodoptera frugiperda*. *Chinese Journal of Biological Control*, 35(5): 715–720. [孔琳, 李玉艳, 王孟卿, 刘晨曦, 毛建军, 陈红印, 张礼生, 2019. 七星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): 715–720.]
- Li GP, Wang YN, Li H, Huang JR, He YZ, Feng HQ, 2019. Larval identification *Spodoptera frugiperda* and other common species occurring at seedling stage maize in henan province. *Chinese Journal of Biological Control*, 35(5): 747–754. [李国平, 王亚楠, 李辉, 黄建荣, 何运转, 封洪强, 2019. 河南省苗期玉米田草地贪夜蛾幼虫与常见其他种类害虫的识别特征. 中国生物防治学报, 35(5): 747–754.]
- Malaquias JB, Ramalho FS, Omoto C, Godoy WAC, Silveiraet RF, 2014. Imidacloprid affects the functional response of predator *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) to strains of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) on Bt cotton. *Ecotoxicology*, 2(23):192–200.
- Medal J, Cruz AS, Smith T, 2017. Feeding responses of *Euthyrinchus floridanus* (Heteroptera: Pentatomidae) to *Megacopta cribraria* (Heteroptera: Plataspidae) with *Spodoptera frugiperda* and *Anticarsia gemmatilis* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae as alternative prey. *Journal of Entomological Science*, 52(1): 87–91.
- Messelink GJ, Bloemhard C, Cortes JA, Sabelis MW, Janssen A, 2011. Hyperpredation by generalist predatory mites disrupts biological control of aphids by the aphidophagous gall midge *Aphidoletes aphidimyza*. *Biological Control*, 57(3): 246–252.
- Murúa G, Coviella MO, 2006. Population dynamics of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and its parasitoids in northwestern Argentina. *Florida Entomologist*, 89(2): 175–182.
- Pan YN, Yao MY, Fu D, Guo F, Tan R, Jiang L, Chen WL, 2020. Predation effects of *Eocanthecona furcellata* adults against *Spodoptera frugiperda* larvae. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 39(3): 23–27. [潘应拿, 姚明勇, 付迪, 郭峰, 覃韧, 姜霖, 陈文龙, 2020. 叉角厉蝽成虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食作用研究. 山地农业生物学报, 39(3): 23–27.]
- Qi GJ, Huang DC, Wang L, Zhang YP, Xiao HX, Shi QX, Xiao Y, Su XN, Huang SH, Zou SF, Chen KW, Zhou ZB, Zhong BY, Zheng JJ, Zhang ZX, Jiang TH, Lv LH, Lu YY, Zhang ZF, 2020a. The occurrence characteristic in winter and year-round breeding

- region of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) in Guangdong province. *Journal of Environmental Entomology*, 42(3): 573–582. [齐国君, 黄德超, 王磊, 章玉苹, 肖汉祥, 石庆型, 肖勇, 苏湘宁, 黄少华, 邹寿发, 陈科伟, 周振标, 钟宝玉, 郑静君, 张志祥, 江腾辉, 吕利华, 陆永跃, 张振飞, 2020a. 广东省草地贪夜蛾冬季发生特征及周年繁殖区域研究. *环境昆虫学报*, 42(3): 573–582.]
- Qi GJ, Su XN, Zhang YP, Lei YP, Guo Y, Huang SH, Xiao Y, Yuan X, Shi QX, Zhang ZF, 2020b. Research progress in monitoring and early warning, prevention and control of *Spodoptera frugiperda*. *Guangdong Agricultural Sciences*, 47(12): 109–121. [齐国君, 苏湘宁, 章玉苹, 雷妍圆, 郭义, 黄少华, 肖勇, 袁曦, 石庆型, 张振飞, 2020b. 草地贪夜蛾监测预警与防控研究进展. *广东农业科学*, 47(12): 109–121.]
- Shapiro JP, Crisostomo LJ, 2006. Assessing biochemical fitness of predator *Podisus maculiventris* (Heteroptera: Pentatomidae) in relation to food quality: effects of five species of prey. *Annals of the Entomological Society of America*, 2006(2): 321–326.
- 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, 侯崢嵘, 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.]
- Tang P, Wang ZZ, Wu Q, Liu YQ, Shi M, Huang JH, Chen XX, 2019. The natural enemies of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* and their application in biological control programs. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(3): 370–381. [唐璞, 王知知, 吴琼, 刘银泉, 时敏, 陈学新, 2019. 草地贪夜蛾的天敌资源及其生物防治中的应用. *应用昆虫学报*, 56(3): 370–381.]
- Tang YT, Li YY, Liu CX, Mao JJ, Chen HY, Zhang LS, Wang MQ, 2019a. Predation and behavior of *Arma chinensis* to *Spodoptera frugiperda*. *Plant Protection*, 45(4): 65–68. [唐艺婷, 李玉艳, 刘晨曦, 毛建军, 陈红印, 张礼生, 王孟卿, 2019a. 蠋蝽对草地贪夜蛾的捕食能力评价和捕食行为观察. *植物保护*, 45(4): 65–68.]
- Tang YT, Wang MQ, Chen HY, Wang Y, Zhang HM, Chen FS, Zhao XQ, Zhang LS, 2019b. Predatory capacity and behavior of *Picromerus lewisi* Scott against *Spodoptera frugiperda* higher instar larvae. *Plant Protection*, 35(5): 698–703. [唐艺婷, 王孟卿, 陈红印, 王燕, 张红梅, 陈福寿, 赵雪晴, 张礼生, 2019b. 益蝽对草地贪夜蛾高龄幼虫的捕食能力评价和捕食行为观察. *中国生物防治学报*, 35(5): 698–703.]
- Wang Y, Wang MQ, Zang HM, Zhao XQ, Yin YQ, Li XY, Tang YT, Chen B, Chen FS, Zhang LS, 2019a. Predation potential of adult of *Picromerus lewisi* (Fallou) on larvae of *Spodoptera frugiperda*. *Chinese Journal of Biological Control*, 35(05): 691–697. [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.]
- Wang Y, Zhang HM, Yin YQ, Li XY, Zhao XQ, Tang YT, Wang MQ, Chen AD, Chen FS, Zhang LS, 2019b. Predation of adult of *Arma chinensis* to larvae of *Spodoptera frugiperda*. *Plant Protection*, 45(5): 42–46. [王燕, 张红梅, 尹艳琼, 李向永, 赵雪晴, 唐艺婷, 王孟卿, 谌爱东, 陈福寿, 张礼生, 2019. 蠋蝽成虫对草地贪夜蛾不同龄期幼虫的捕食能力. *植物保护*, 45(5): 42–46.]
- Wang YN, Wu ZB, Zhao SY, He YZ, Huang JR, Tian CH, Li GP, Feng HQ, 2021. Morphological characteristics of *Sycanus croceovittatus* Dohrn. *Plant Protection*, 47(5): 230–235. [王亚楠, 武志斌, 赵胜园, 何运转, 黄建荣, 田彩虹, 李国平, 封洪强, 2021. 黄带犀猎蝽形态特征. *植物保护*, 47(5): 230–235.]
- Wang YN, Zhao SY, He YZ, Wu KM, Li GP, Feng HQ, 2020. Predation of *Sycanus croceovittatus* Dohrn on the larvae of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). *Chinese Journal of Biological Control*, 36(4): 525–529. [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.]
- Wu KM, 2020. Management strategies of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China. *Plant Protection*, 46(2): 1–5. [吴孔明, 2020. 中国草地贪夜蛾的防控策略. *植物保护*, 46(2): 1–5.]
- Wyckhuys K, Neil RO, 2006. Population dynamics of *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) and associated arthropod natural enemies in Honduran subsistence maize. *Crop Protection*, 25(11): 1180–1190.
- Zhou J, Sheng HY, Li ZY, Guan YX, Chen KW, 2020. Function response of *Mallada basalis* (Walker) on *Brevicoryne brassicae* (L.) and *Rhopalosiphum maidis* (Fitch). *Journal of Environmental Entomology*, 42(1): 152–156. [周娟, 生惠宇, 李子园, 关迎雪, 陈科伟, 2020. 黄玛草蛉对两种蚜虫的捕食效能. *环境昆虫学报*, 42(1): 152–156.]
- 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, 王魁, 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.]
- Zou YD, Meng QL, Chen GC, Geng JG, Wang GM, 1999. The effect of mutual interference and spacial heterogeneity on predation of adult *Coccinella septempunctata* L. *Acta Entomologica Sinica*, 42(1): 52–56. [邹运鼎, 孟庆雷, 陈高潮, 耿继光, 王公明, 1999. 干扰作用及空间异质性对七星瓢虫成虫捕食作用的影响. *昆虫学报*, 42(1): 52–56.]