

温度对蠋蝽成虫捕食草地贪夜蛾 功能反应的影响*

汪洁^{1,2,3**} 母银林^{1,2,3} 杨灿^{1,2,3} 杨琳^{1,2,3}
王玉川⁴ 陈俊竹⁴ 常志敏^{1,2,3} 龙见坤^{1,2,3} 胡朝兴^{1,2,3}
张长华⁵ 陈祥盛^{1,2,3***} 喻会平^{4***}

(1. 贵州大学贵州山地农业病虫害省级重点实验室, 贵阳 550025; 2. 贵州大学昆虫研究所, 贵阳 550025;
3. 贵州大学贵州省昆虫资源开发利用特色重点实验室, 贵阳 550025; 4. 贵州省烟草公司毕节市公司技术中心, 毕节 551700;
5. 贵州省烟草公司遵义市公司, 遵义 563300)

摘要 【目的】为明确不同温度条件下蠋蝽 *Arma custos* 成虫对草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 4 龄和 5 龄幼虫的生物防控潜能。【方法】在实验室条件下, 设置温度为 18、22、26 和 30 °C 处理, 测定蠋蝽雌成虫和雄成虫对草地贪夜蛾 4 龄和 5 龄幼虫的捕食功能反应。其中草地贪夜蛾 4 龄幼虫的密度设为 5、10、15、20、25 和 30 头/盒; 5 龄幼虫密度设为 5、8、10、15、20 和 25 头/盒。【结果】不同温度条件下, 蠋蝽成虫对草地贪夜蛾 4 龄和 5 龄幼虫的捕食功能反应均符合 Holling II 型方程。随着温度的升高, 蠋蝽雌成虫和雄成虫对草地贪夜蛾 4 龄和 5 龄幼虫的捕食量增加, 且不同温度间捕食量差异显著 ($F_{3, 16}=8.69$, $P<0.05$)。同一温度下, 随着猎物密度的增加捕食量明显上升 ($F_{5, 24}=5.53$, $P<0.05$)。蠋蝽雌成虫对草地贪夜蛾 4 龄幼虫的瞬时攻击率在 30 °C 下达到最大值, 为 0.812, 雄成虫在 26 °C 下达到最大值, 为 0.721; 蠋蝽雌成虫对草地贪夜蛾 5 龄幼虫的瞬时攻击率在 26 °C 下最大, 为 0.937, 雄成虫在 30 °C 下达到最大值, 为 1.233。在 26 °C 下, 雌成虫和雄成虫对 4 龄和 5 龄幼虫的最大捕食量均达到最大值, 且该温度下雌成虫和雄成虫对 4 龄和 5 龄幼虫处理时间均最短。【结论】较高温度下蠋蝽成虫对草地贪夜蛾 4 龄和 5 龄幼虫有较强的捕食能力, 而低温会抑制其捕食能力。

关键词 蠋蝽; 草地贪夜蛾; 温度; 生物防治; 功能反应

Effects of temperature on the predatory functional response of *Arma custos* adults to *Spodoptera frugiperda*

WANG Jie^{1,2,3**} MU Yin-Lin^{1,2,3} YANG Can^{1,2,3} YANG Lin^{1,2,3} WANG Yu-Chuan⁴
CHEN Jun-Zhu⁴ CHANG Zhi-Min^{1,2,3} LONG Jian-Kun^{1,2,3} HU Chao-Xing^{1,2,3}
ZHANG Chang-Hua⁵ CHEN Xiang-Sheng^{1,2,3***} YU Hui-Ping^{4***}

(1. Provincial Key Laboratory for Agricultural Pest Management of the Mountainous Region, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Institute of Entomology, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 3. The Provincial Special Key Laboratory for Development and Utilization of Insect Resources, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 4. Bijie Technology Center, Guizhou Tobacco Company, Bijie 551700, China; 5. Zunyi Branch Company of Guizhou Tobacco Company, Zunyi 563300, China)

Abstract 【Objectives】To clarify the effect of temperature on the ability of adult *Arma custos* to act as a biological control for 4th and 5th instar *Spodoptera frugiperda* larvae. 【Methods】The predatory functional responses of adult male and female *A. custos* to 4th and 5th instar *S. frugiperda* larvae were determined at 4 temperatures (18, 22, 26 and 30 °C) in a laboratory.

*资助项目 Supported projects: 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); 国家重点研发计划 (2019YFD0300100); 毕节市烟草公司自立项目 (毕烟技〔2019〕89 号)

**第一作者 First author, E-mail: 312034051@qq.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: chenxs3218@163.com; yhp650828@126.com

收稿日期 Received: 2022-04-01; 接受日期 Accepted: 2022-07-25

The density of 4th instar larvae was 5, 10, 15, 20, 25, 30 larvae/box, and that of 5th instar larvae was 5, 8, 10, 15, 20, 25 larvae/box. **[Results]** The predatory functional responses of adult *A. custos* conformed to the Holling II equation at each temperature. Temperature had a significant ($F_{3,16}=8.69$, $P<0.05$) effect on predation, which increased at higher temperatures. Predation was also significantly ($F_{5,24}=5.53$, $P<0.05$) higher at higher prey densities. The maximum rate of instantaneous attack of adult female *A. custos* on 4th instar larvae (0.812) was reached at 30 °C, whereas that of adult males (0.721) was reached at 26 °C. The maximum instantaneous attack rate of adult female *A. custos* on 5th instar larvae (0.937) was reached at 26 °C, whereas that of adult males (1.233) was reached at 30 °C. Maximum predation of female and male adults on 4th and 5th instar larvae (23.256, 21.834, 10.081 and 11.236, respectively) was reached at 26 °C. The time required by adult males and females to process 4th and 5th instar larvae (0.043, 0.046, 0.099 and 0.089 d, respectively) was shortest at this temperature. **[Conclusion]** The predatory capacity of adult *A. custos* with respect to 4th and 5th instar *S. frugiperda* larvae was highest at 26 and 30 °C.

Key words *Arma custos*; *Spodoptera frugiperda*; temperature; biological control; functional response

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 属夜蛾科 Noctuidae 灰翅夜蛾属 *Spodoptera*, 原产于美洲热带和亚热带地区 (Todd and Poole, 1988; Jarrod *et al.*, 2015; Montezano *et al.*, 2018), 被联合国粮农组织列为全球预警的重大迁飞性农业害虫, 可为害 76 科 353 种植物 (Westbrook *et al.*, 2016; Kalleshwaraswamy *et al.*, 2018; 刘小宇, 2021)。该害虫于 2019 年 1 月入侵我国云南省普洱市江城县 (郭井菲等, 2019; 杨学礼等, 2019), 同年草地贪夜蛾在我国的发生面积近 $1.2 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 2021 年的发生面积达到 $2.7 \times 10^6 \text{ hm}^2$ (郭井菲等, 2022; 李维薇, 2022)。该虫具有暴食为害、生态多型和扑杀难度大等特点 (Sparks, 1979; 肖勇等, 2022), 幼虫共 6 龄, 各龄均可造成受害, 1-3 龄幼虫群集为害, 取食植物叶片叶肉造成透明薄膜“窗孔”状, 严重时叶片出现孔洞或缺刻等, 4-6 龄幼虫可取食玉米心叶、叶鞘、穗轴及籽粒等 (姜玉英等, 2019), 导致玉米品质下降, 严重时可使农作物减产甚至绝收, 对我国粮食生产安全构成了严重威胁 (张磊等, 2019)。因此, 防治该害虫具有重要的经济意义。目前, 草地贪夜蛾的防控主要以化学防治为主, 而大量使用农药会导致农产品农药残留增加、水源和土壤被污染、害虫抗药性加强等问题, 最终影响生态系统平衡 (王娟, 2021)。随着人类对食品安全和保护生态环境意识的加强, 天敌昆虫作为生物防治主力军, 在防治草地贪夜蛾的应用中受到极大的重视 (彭华, 2005; 杨怀文, 2015)。草地贪夜

蛾天敌昆虫资源十分丰富, 据 Molina-Ochoa 等 (2003) 报道, 草地贪夜蛾的寄生蜂多达 150 种, 在我国报道了 26 种; 陈万斌等 (2019) 报道, 草地贪夜蛾的寄生蝇全世界有 69 种; 陈秀琴等 (2021) 报道草地贪夜蛾捕食性天敌昆虫有 44 种, 主要为鞘翅目和半翅目昆虫, 半翅目中捕食性蝽类占大多数。

蠋蝽 *Arma custos* 是蝽科 Pentatomidae 益蝽亚科 Asopinae 蠋蝽属 *Arma* 的捕食性天敌, 又名蠋敌 (Zou *et al.*, 2012; 赵清, 2013)。蠋蝽适应能力强, 分布广且捕食害虫种类多, 在农林害虫防治中具有良好的应用前景 (邹德玉等, 2016)。与赤眼蜂和肿腿蜂等寄生性天敌昆虫的生物防治不同, 蠋蝽只需选择生态环境适宜的场所连续释放 2-3 年, 即可在释放区形成相对稳定的定殖种群, 达到可持续防治害虫的目的 (高卓等, 2009)。研究表明, 蠋蝽在室温下对草地贪夜蛾有较强的捕食能力和控害潜能 (唐艺婷等, 2019; 王燕等, 2019)。目前, 有关蠋蝽防治害虫的研究多集中在室温下评价其控害作用 (高卓等, 2009; 王燕等, 2019; 唐艺婷等, 2020), 而不同温度条件下蠋蝽对害虫控害效能的研究存在空白。本文就不同温度 (18、22、26 和 30 °C) 条件下蠋蝽成虫对草地贪夜蛾 4 龄和 5 龄幼虫的捕食情况和搜寻效应进行了研究, 并通过 Holling II 功能反应模型对捕食功能反应进行拟合, 初步评价不同温度下蠋蝽对草地贪夜蛾幼虫的控害能力, 以期在不同温度下草地贪夜蛾的生

物防治提供理论依据和数据支撑。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

试验所用蠋蝽为贵州省毕节市黔西烟草公司天敌昆虫繁育中心提供,室内用草地贪夜蛾连续饲养 3 代以上,待成虫羽化后,将其两两配对置于配对杯中(300 mL 硬质航空杯),杯口用 100 目纱网封口,杯中放入卡纸(长 8 cm,宽 5 cm)供其产卵。草地贪夜蛾幼虫于 2019 年 6 月采自贵州省盘州市鸡场坪镇滑石乡(N 25°54', E 104°36', 平均海拔 1 800 m)的玉米地,在人工气候箱中用新鲜玉米苗饲养多代。两者均在温度为(26±1)℃、相对湿度 66%±5%、光周期 16 L:8 D 的人工气候箱(合肥达斯卡特生物科技有限公司,RGL-P 系列人工气候培养箱)饲养。

1.2 试验方法

选择羽化 24 h 内的蠋蝽雌成虫和雄成虫各 240 头,试验前分别将其单头放入培养皿(直径:10 cm;高:1.5 cm)内,培养皿内放入一块浸湿的脱脂棉供蠋蝽补充水分,将放有蠋蝽的培养皿置于人工气候箱进行饥饿处理 24 h。24 h 后分别将 1 头饥饿处理后的蠋蝽雌成虫和雄成虫及草地贪夜蛾 4 龄幼虫一起接入养虫盒(上口直径 17 cm、宽 11.5 cm,下口直径 14 cm、宽 8.8 cm,高为 10 cm)内(5 龄幼虫做相同处理),同时在每个养虫盒中加入少量玉米叶,避免草地贪夜蛾幼虫自相残杀。然后将养虫盒分别置于温度为 18、22、26 和 30℃的 4 个人工气候箱内(相对湿度:66%±5%,光周期 16 L:8 D)饲养。草地贪夜蛾 4 龄幼虫密度梯度设置为 5、10、15、20、25 和 30 头/盒;5 龄幼虫密度梯度为 5、8、10、15、20 和 25 头/盒,每处理设置 5 个重复。饲养 24 h 后检查养虫盒内草地贪夜蛾幼虫的存活数量。

1.3 数据分析

试验数据用 Holling II 型圆盘方程拟合: $N_a = aNT_r / (1 + aT_h N)$, 方程公式中 N_a 代表草地贪

夜蛾(4 龄和 5 龄)被捕食数量, a 代表蠋蝽对草地贪夜蛾的瞬时攻击率, N 是设置的草地贪夜蛾密度, T_r 是蠋蝽捕食草地贪夜蛾总时间(本试验中 T_r 为 24 h 即为 1 d), T_h 即处理时间(为蠋蝽捕食 1 头草地贪夜蛾所需的时间)。当草地贪夜蛾密度 N 趋近于无穷时, $1/N$ 趋近于 0,从而得到理论最大日捕食量 $N_{amax} = 1/T_h$ (Holling, 1959)。蠋蝽对草地贪夜蛾的搜寻效应: $S = aT_r / (1 + aT_h N)$, S 代表搜寻效应值,其余式中参数意义同上(丁岩钦, 1994)。

实验原始数据用 Excel 2016 记录,利用 IBM SPSS Statistics 20 进行方差检验并拟合功能反应方程,用 Duncan's 新复极差法进行多重比较,试验相关图利用 Origin 2018 完成。

2 结果与分析

2.1 温度对蠋蝽成虫捕食草地贪夜蛾数量的影响

2.1.1 不同温度下蠋蝽成虫对草地贪夜蛾 4 龄幼虫的捕食能力

蠋蝽成虫对草地贪夜蛾 4 龄幼虫的捕食量如表 1 所示,不同温度及不同猎物密度对蠋蝽的捕食作用有明显影响。同一温度下,蠋蝽雌成虫和雄成虫的日均捕食量随着猎物密度的增加而增加,除在 30℃下猎物密度为 25 头/盒时,蠋蝽雌成虫对草地贪夜蛾 4 龄幼虫捕食量达到最大值,为 11.6 头,其余温度下蠋蝽雌成虫和雄成虫的日均捕食量均在猎物密度为 30 头/盒时达到最大值。

同一猎物密度下,蠋蝽雌成虫的日均捕食量随着温度的升高逐渐增大,除猎物密度为 30 头/盒时,雌成虫的捕食量在 26℃下达到最大值,为 12.2 头,其余密度下蠋蝽雌成虫的捕食量均在温度为 30℃时达到最大;蠋蝽雄成虫的日均捕食量随着温度升高而增大,当猎物密度为 10 头/盒和 20 头/盒时,雄成虫的捕食量在 30℃下达到最大值,其余猎物密度下雄成虫的日均捕食量均在 26℃下达到最大。

2.1.2 不同温度下蠋蝽成虫对草地贪夜蛾 5 龄幼虫的捕食能力

蠋蝽成虫对草地贪夜蛾 5 龄幼虫的捕食量如表 2 所示,不同温度及不同猎物密度对蠋蝽的捕食作用有明显的的影响。在同一温

表 1 不同温度对蠋蝽成虫捕食草地贪夜蛾 4 龄幼虫的影响
Table 1 Effects of different temperatures on the predation of 4th instar larvae of *Spodoptera frugiperda* by adult *Arma custos*

捕食者虫态 Stage of predator	温度 (°C) Temperatures (°C)	草地贪夜蛾的密度 (头/盒) Density of <i>Spodoptera frugiperda</i> (ind./box)							
		5	10	15	20	25	30		
雌成虫 Female adult	18	1.200±0.200 bC	2.400±0.510 bBC	3.000±0.316 bAB	3.600±0.400 bAB	3.800±0.490 bA	4.200±0.490 cA		
	22	1.200±0.490 bC	2.600±0.245 bBC	2.800±0.374 bBC	4.200±0.374 bAB	5.000±0.548 bA	5.600±0.872 cA		
	26	3.000±0.447 aD	4.600±0.245 aCD	6.000±0.632 aC	9.000±1.140 aB	11.200±0.374 aA	12.200±0.860 aA		
	30	3.400±0.245 aE	5.600±0.600 aD	7.400±0.510 aC	9.200±0.374 aB	11.600±0.600 aA	10.000±0.548 bB		
雄成虫 Male adult	18	1.600±0.245 bB	2.400±0.245 cAB	2.800±0.374 bAB	3.200±1.068 bAB	3.600±0.812 bAB	4.400±0.927 cA		
	22	1.800±0.200 bD	3.400±0.245 bcCD	5.000±0.447 aBC	5.400±0.510 bB	4.200±0.970 bBC	7.600±0.927 bA		
	26	3.200±0.200 aF	4.800±0.490 abE	6.800±0.374 aD	9.000±0.447 aC	10.400±0.245 aB	12.600±0.600 aA		
	30	3.000±0.316 aD	5.200±0.735 aCD	6.600±1.030 aBC	9.600±1.364 aB	8.600±0.678 aAB	9.800±0.663 bA		

表中数据为平均值±标准误, 同列数据后标有不同小写字母表示相同密度下不同温度处理间在 0.05 水平上差异显著; 同行数据后标有不同大写字母表示同一温度下不同密度间在 0.05 水平上差异显著。表 2 同。

Data are mean±SE, and followed by different lowercase letters in the same column indicate significant differences among different temperature treatments at the 0.05 level under the same density, while followed by the different uppercase letters in the same line indicate significant differences at 0.05 levels among different densities at the same temperature. The same as table 2.

表 2 不同温度对蠋螭成虫捕食草地贪夜蛾 5 龄幼虫的影响
Table 2 Effects of different temperatures on the predation of 5th instar larvae of *Spodoptera frugiperda* by adult *Arma custos*

捕食者虫态 Stage of predator	温度 (°C)	草地贪夜蛾的密度 (头/盒) Density of <i>Spodoptera frugiperda</i> (ind./box)					
	Temperatures (°C)	5	8	10	15	20	25
雌成虫 Female adult	18	1.400±0.245 bB	1.800±0.490 cB	2.200±0.200 cAB	2.000±0.548 cAB	2.600±0.400 bAB	3.200±0.374 bA
	22	1.800±0.200 bA	3.200±0.200 bA	3.400±0.400 bA	3.600±0.872 bcA	3.800±1.068 bA	3.800±0.800 bA
	26	3.200±0.200 aD	4.200±0.200 aCD	5.000±0.000 aBC	6.000±0.548 aAB	6.400±0.245 aA	7.000±0.632 aA
	30	3.000±0.316 aD	4.200±0.200 aCD	5.200±0.200 aBC	5.400±0.510 abABC	6.200±0.490 aAB	6.800±0.917 aA
雄成虫 Male adult	18	1.400±0.245 bB	2.200±0.200 bAB	2.200±0.374 bAB	2.600±0.872 bAB	3.000±0.316 bA	3.200±0.374 bA
	22	1.800±0.200 bB	2.400±0.400 bAB	2.600±0.510 bAB	3.400±0.245 bA	3.200±0.583 bA	3.600±0.510 bA
	26	3.800±0.374 aC	4.600±0.510 aBC	5.200±0.374 aBC	6.000±0.447 aB	8.000±0.837 aA	9.000±0.548 aA
	30	4.000±0.447 aC	4.800±0.374 aBC	5.200±0.490 aBC	6.200±1.020 aBC	7.000±1.095 aAB	9.200±1.393 aA

度下, 蠋蝽雌成虫和雄成虫的日均捕食量随着猎物密度的增加而增加, 均在猎物密度为 25 头/盒时达到最大值。

当猎物密度一致时, 蠋蝽雌成虫捕食量随着温度升高而增大, 除猎物密度为 10 头/盒在 30 °C 下达到最大值, 为 5.2 头, 其余猎物密度下雌成虫捕食量均在 26 °C 达到最大值。雄成虫对 5 龄幼虫的捕食量除在猎物密度为 20 头/盒时在 26 °C 下达到最大值, 其余猎物密度下雄成虫捕食量均随着温度的上升而增大, 且均在 30 °C 时达到最大值。

2.2 不同温度条件下蠋蝽成虫的功能反应模型及其参数

2.2.1 不同温度下蠋蝽成虫对草地贪夜蛾 4 龄幼虫的捕食功能反应

在温度 18-30 °C 范围内, 蠋蝽成虫对草地贪夜蛾 4 龄幼虫的捕食功能反

应均符合 Holling II 型方程 (表 3)。蠋蝽雌成虫对草地贪夜蛾 4 龄幼虫的瞬时攻击率 a 和捕食效能 a/T_h 在 30 °C 下均达到最大值, 分别为 0.812 和 16.274, 最大捕食量 $1/T_h$ 在 26 °C 下达到最大值, 为 23.256 头, 处理时间随着温度升高逐渐缩短, 在 26 °C 时最短, 为 0.043 d; 雄成虫的瞬时攻击率 a 和捕食效能 a/T_h 随着温度升高而增大, 均在 26 °C 下达到最大值 0.721 和 15.746, 最大捕食量 $1/T_h$ 在 26 °C 下达到 21.834 头, 处理时间在 26 °C 下最短, 为 0.046 d。结果表明, 蠋蝽成虫对草地贪夜蛾 4 龄幼虫的捕食有明显影响, 在 26-30 °C 下捕食效能高, 在 18-22 °C 范围内捕食效能小, 说明低温会抑制蠋蝽成虫的捕食行为。

蠋蝽成虫对草地贪夜蛾 4 龄幼虫的捕食量随着温度和猎物密度的升高而增加 (图 1: A-D), 由表 3 可知不同温度下蠋蝽成虫捕食 4 龄幼虫时

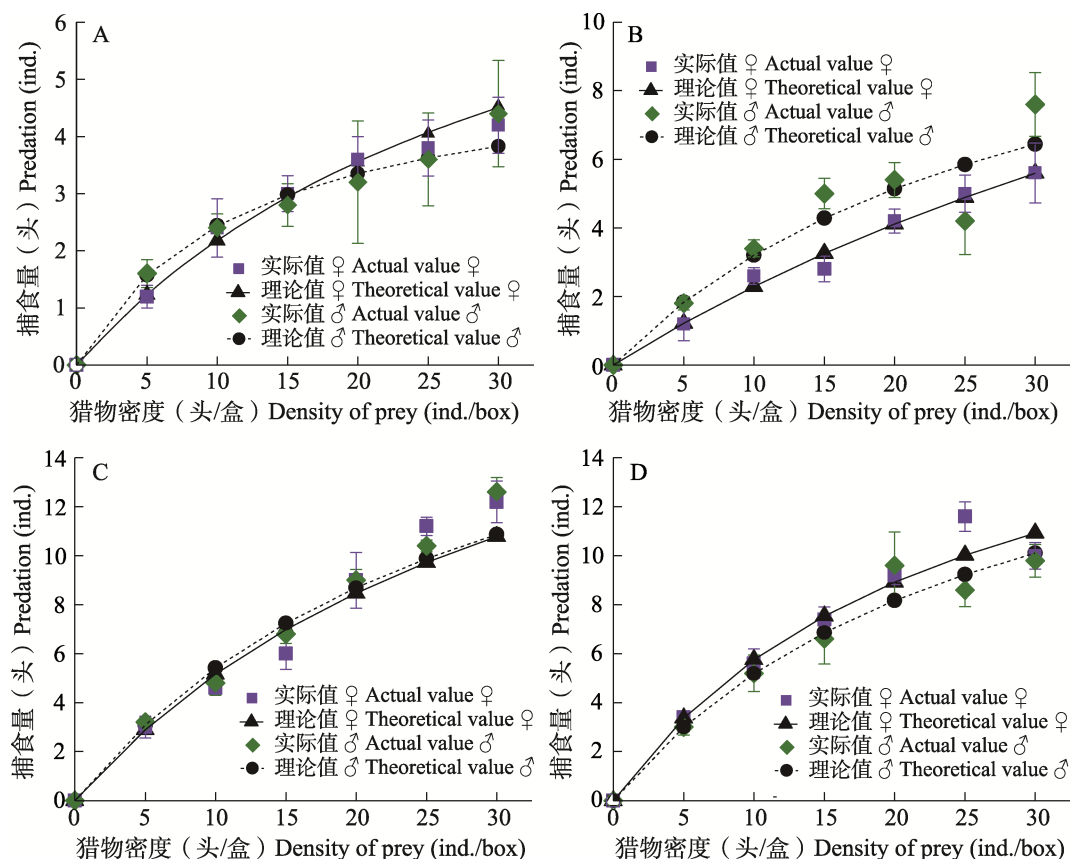


图 1 不同温度下蠋蝽雌成虫和雄成虫对草地贪夜蛾 4 龄幼虫的捕食功能反应

Fig. 1 Predatory functional response of female and male adults of *Arma custos* to 4th instar larvae of *Spodoptera frugiperda* at different temperatures

A. 18 °C; B. 22 °C; C. 26 °C; D. 30 °C.

表 3 不同温度条件下蠋蝽成虫捕食草地贪夜蛾 4 龄和 5 龄幼虫的功能反应模型及其参数
Table 3 The functional response models and parameters of *Arma custos* adults to prey on the 4th and 5th instar larvae of *Spodoptera frugiperda* at different temperatures conditions

捕食者虫态 Stage of predator	温度 (°C) Temperatures (°C)	猎物龄期 Prey age	功能反应方程 Predatory functional response equation	相关系数 R^2 Correlation coefficient	瞬时攻击率 a Instantaneous attack rate	处理时间 (d) Handling time (d)	捕食效能 a/T_h Predation capacity	日最大捕食量 Maximum daily consumption	χ^2
雌成虫 Female adult	18	4 龄幼虫 4th instar larvae	$N_a=0.281N/(1+0.029N)$	0.989	0.281	0.103	2.733	9.737	0.163
	22		$N_a=0.259N/(1+0.013N)$	0.982	0.259	0.050	5.171	19.960	1.802
	26		$N_a=0.661N/(1+0.028N)$	0.966	0.661	0.043	15.363	23.256	1.303
	30		$N_a=0.812N/(1+0.041N)$	0.990	0.812	0.050	16.274	20.040	1.031
雄成虫 Male adult	18	5 龄幼虫 5th instar larvae	$N_a=0.449N/(1+0.084N)$	0.981	0.449	0.187	2.395	5.339	0.568
	22		$N_a=0.427N/(1+0.033N)$	0.942	0.427	0.076	5.604	13.123	1.186
	26		$N_a=0.721N/(1+0.033N)$	0.975	0.721	0.046	15.746	21.834	1.186
	30		$N_a=0.711N/(1+0.037N)$	0.989	0.711	0.052	13.752	19.342	1.104
雌成虫 Female adult	18	5 龄幼虫 5th instar larvae	$N_a=0.449N/(1+0.122N)$	0.895	0.449	0.271	1.657	3.690	0.338
	22		$N_a=0.570N/(1+0.090N)$	0.852	0.570	0.158	3.615	6.337	0.465
	26		$N_a=0.937N/(1+0.093N)$	0.867	0.937	0.099	9.443	10.081	0.450
	30		$N_a=0.886N/(1+0.089N)$	0.974	0.886	0.100	8.852	9.990	0.470
雄成虫 Male adult	18	5 龄幼虫 5th instar larvae	$N_a=0.417N/(1+0.087N)$	0.963	0.417	0.210	1.987	4.769	0.480
	22		$N_a=0.579N/(1+0.119N)$	0.978	0.579	0.206	2.809	4.854	0.347
	26		$N_a=1.073N/(1+0.096N)$	0.941	1.073	0.089	12.060	11.236	0.436
	30		$N_a=1.233N/(1+0.122N)$	0.926	1.233	0.099	12.509	10.142	0.338

N_a 代表蠋蝽捕食猎物数量, N 草地贪夜蛾密度。
 N_a represents the number of prey for *A. custos*, N represents the density of *S. frugiperda*.

的相关系数 R^2 值均大于 0.9。对理论值与实际值进行卡方 (χ^2) 适合性检验, 得出 χ^2 值均低于 7.815。结果表明, 蠋蝽成虫在不同温度下对草地贪夜蛾 4 龄幼虫实际捕食量与理论捕食量差异不显著, 符合 Holling II 模型, 能够很好地反映不同温度下蠋蝽随草地贪夜蛾密度变化而影响捕食量的情况。

2.2.2 不同温度下蠋蝽成虫对草地贪夜蛾 5 龄幼虫的捕食功能反应 不同温度下蠋蝽成虫捕食草地贪夜蛾 5 龄幼虫的功能反应模型及其参数见表 3。雌成虫对 5 龄幼虫的瞬时攻击率 a 、捕食效能 a/T_h 和日最大捕食量 $1/T_h$ 均在 26 °C 下达到最大, 分别为 0.937、9.443 和 10.081 头, 该温度下处理时间最短, 为 0.099 d; 雄成虫对草地贪夜蛾 5 龄幼虫的瞬时攻击率 a 和捕食效能 a/T_h 在 30 °C 下达到最大值, 分别为 1.233 和 12.509, 日最大捕食量 $1/T_h$ 在 26 °C 下达到最大值, 为 11.236 头, 该温度下处理时间最短, 为

0.089 d。结果表明, 26-30 °C 范围内有利于蠋蝽成虫捕食草地贪夜蛾 5 龄幼虫。

蠋蝽成虫对草地贪夜蛾 5 龄幼虫的捕食功能反应拟合见图 2 (A-D), 且由表 3 可知 R^2 值 (0.852 - 0.978) 均大于 0.850, χ^2 值 0.338-0.480 均低于 7.815 ($P=0.05$, $df=3$), 结果表明, 不同温度下蠋蝽成虫对草地贪夜蛾 5 龄幼虫捕食的拟合线与实际值趋势相吻合, 拟合效果好。

2.3 温度对蠋蝽成虫寻找效应的影响

2.3.1 温度对蠋蝽成虫捕食草地贪夜蛾 4 龄幼虫的寻找效应影响 根据 $S=aT/(1+aT_hN)$ 公式得到蠋蝽成虫对草地贪夜蛾 4 龄幼虫寻找效应 (图 3: A, B)。当猎物密度相同时, 蠋蝽成虫对草地贪夜蛾 4 龄幼虫的寻找效应随温度升高而增大, 雌成虫的寻找效应由高到低依次为 30、26、22 和 18 °C; 雄成虫寻找效应由高到低依次为 26、30、22 和 18 °C。当温度相同时, 蠋蝽

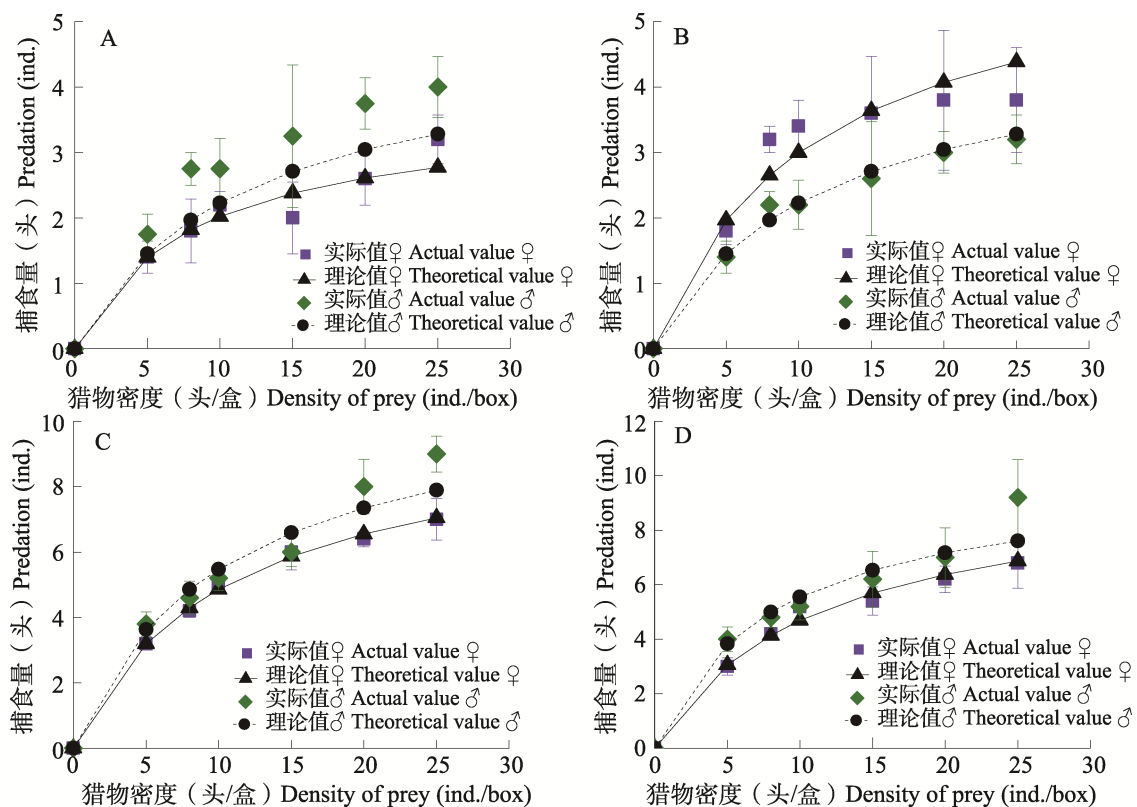


图 2 不同温度下蠋蝽雌成虫和雄成虫对草地贪夜蛾 5 龄幼虫的捕食功能反应

Fig. 2 Predatory functional response of female and male *Arma custos* adults to the 5th instar larvae of *Spodoptera frugiperda* at different temperatures

A. 18 °C; B. 22 °C; C. 26 °C; D. 30 °C.

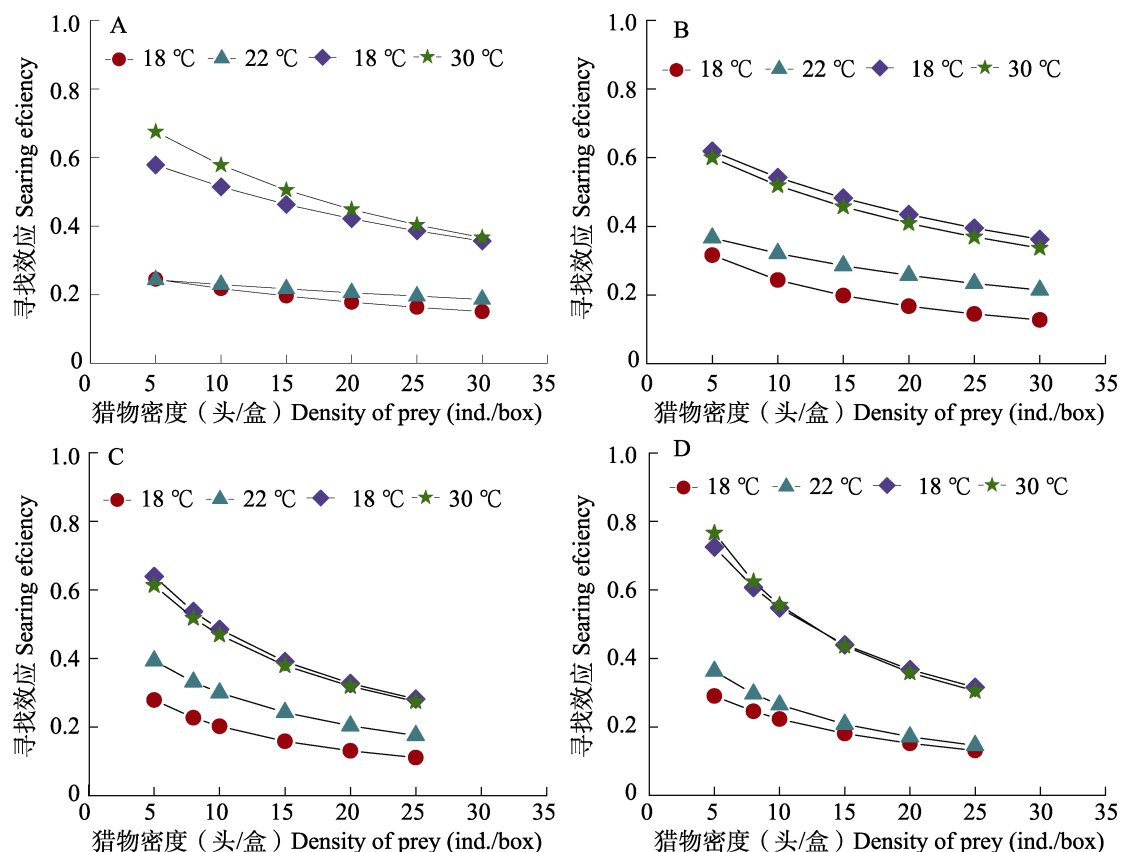


图3 不同温度下蠋蝽成虫捕食草地贪夜蛾4龄和5龄幼虫的寻找效应

Fig. 3 The searching effect of *Arma custos* adults on the 4th and 5th instar larvae of *Spodoptera frugiperda* at different temperatures

A. 雌成虫捕食4龄幼虫; B. 雄成虫捕食4龄幼虫; C. 雌成虫捕食5龄幼虫; D. 雄成虫捕食5龄幼虫。
A. Female adult preying on 4th instar larvae; B. Male adult preying on 4th instar larvae; C. Female adult preying on 5th instar larvae; D. Male adult preying on 5th instar larvae.

成虫对草地贪夜蛾4龄幼虫的寻找效应随猎物密度增加而降低。

2.3.2 温度对蠋蝽成虫捕食草地贪夜蛾5龄幼虫的寻找效应影响 蠋蝽成虫对草地贪夜蛾5龄幼虫的寻找效应如图3(C, D)所示。同一猎物密度下, 蠋蝽成虫寻找效应随着温度的升高而增大, 雌成虫的寻找效应由高到低依次为26、30、22和18 °C; 在猎物密度小于15头/盒时, 雄成虫寻找效应在30 °C时达到最大值, 猎物密度大于15头/盒时, 雄成虫寻找效应在26 °C下达到最大值。同一温度下, 蠋蝽成虫对草地贪夜蛾5龄幼虫的寻找效应随着猎物密度的增加逐渐减小。

3 讨论

蠋蝽可捕食众多重要的农林害虫, 明确其对

目标害虫的防控效果是更好应用蠋蝽的前提。捕食功能反应实验是检验天敌昆虫控害能力的重要方法(Holling, 1959; 孙婧婧等, 2021)。本研究中将不同温度处理下蠋蝽雌成虫和雄成虫对草地贪夜蛾4龄和5龄幼虫的捕食功能进行拟合, 功能反应模型参数结果表明, 蠋蝽成虫对草地贪夜蛾4龄和5龄幼虫有较强的捕食能力。这一研究结果与红彩真猎蝽 *Harpactor fuscipes* 捕食斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 和烟青虫 *Helicoverpa assulta* (邓海滨等, 2012)、叉角厉蝽 *Eocanthecona furcellata* 捕食斜纹夜蛾(陈然等, 2015)、益蝽 *Picromerus lewisi* 捕食粘虫 *Mythimna separate* (唐艺婷等, 2018)及大红犀猎蝽 *Sycanus falleni* 捕食草地贪夜蛾(侯峥嵘等, 2020)的捕食功能反应模型一致, 均符合大

多数捕食性蝽对猎物的捕食功能反应 Holling II 模型。

温度和猎物密度是影响天敌昆虫捕食猎物的主要因素(杨灿等, 2021; 张晓滢等, 2022)。本研究中当猎物密度相同时, 蝽成虫的捕食能力在 18-30 °C 间随着温度升高呈上升趋势, 成虫对草地贪夜蛾 4 龄和 5 龄幼虫的日最大捕食量、捕食能力和瞬时攻击率在 26 °C 和 30 °C 下达到最大值; 当温度相同时, 成虫的捕食能力与猎物密度呈正相关。结果表明, 在一定猎物密度范围内, 适宜的升高温度可提高蝽成虫对草地贪夜蛾 4 龄和 5 龄幼虫的捕食能力, 而低温显著抑制蝽成虫的捕食能力。这与符悦冠等(2007)的研究中较高温度有利于拟小食蝽瓢虫 *Stethorus (Allosstethorus) parapauperculus* 对皮氏叶蝽 *Tetranychus piercei* 的控制作用及辛天蓉等(2013)研究得到随温度升高, 尼氏真绥蝽 *Euseius nicholsi* 对桔全爪螨 *Panonychus citri* 捕食量增加的结果一致。证实了温度可以影响昆虫的捕食能力, 因此, 在利用蝽成虫进行田间防控草地贪夜蛾幼虫时, 应尽量避免连续性低温的天气释放蝽。

捕食功能反应中, 天敌对猎物的瞬时攻击率和捕食量是反映其捕食能力的重要指标(侯峥嵘等, 2020; 张晓滢等, 2022)。本研究中室温 26 °C 处理下, 蝽雌成虫对草地贪夜蛾 4 龄和 5 龄幼虫的瞬时攻击率分别是 0.661 和 0.721, 日最大捕食量分别为 23.256 头和 21.834 头, 雄成虫对草地贪夜蛾 4 龄和 5 龄幼虫的瞬时攻击率分别是 0.937 和 1.073, 日最大捕食量分别为 10.081 头和 11.236 头。这一研究结果与王燕等(2019)研究蝽对草地贪夜蛾 4 龄和 5 龄幼虫的捕食结果相比, 本研究中蝽成虫对草地贪夜蛾 4 龄幼虫的瞬时攻击率偏小, 对 5 龄幼虫的日最大捕食量偏大。推测可能是由于实验中所选蝽地理种群及草地贪夜蛾的活动能力不一致等因素造成的。蝽成虫对草地贪夜蛾幼虫的搜寻效应受温度和草地贪夜蛾密度的影响, 随着温度上升, 搜寻效应增加, 随着猎物密度增加搜寻效应反而降低, 该结论与不同温度下六斑月瓢虫 *Menochilus sexmaculatus* 捕食桃蚜 *Myzus persicae* (陈文胜

等, 2004)、尼氏真绥蝽捕食桔全爪螨(辛天蓉等, 2013)及多异瓢虫 *Hippodamia variegata* 捕食棉蚜 *Aphis gossypii* (孔晓霞, 2018)的结论相似。结果表明, 在实际应用中, 需要根据调查的猎物密度确定天敌昆虫的释放量, 且选择在一定范围的较高温度下释放利用天敌昆虫, 可提高对害虫的控害效果。过低的温度可能会抑制天敌昆虫的生长发育及活动能力, 减少能量消耗从而降低天敌捕食猎物的能力。

本文在室内通过探究不同温度下蝽成虫对草地贪夜蛾 4 龄和 5 龄幼虫的捕食功能反应和搜寻效应模型, 明确了较高温度有利于蝽成虫对草地贪夜蛾幼虫的防治。该结论有助于了解蝽在田间对草地贪夜蛾的控害效能, 可为当地释放蝽控制害虫提供参考数据。但在自然环境条件下, 蝽对草地贪夜蛾的捕食能力, 除会受到温度影响外, 还会受到湿度、天敌昆虫、猎物、草地贪夜蛾虫口密度及其所在小环境(玉米穗轴和心叶等隐蔽处为害)等因素的影响。因此, 为发挥蝽在田间对草地贪夜蛾的控害作用, 还需要结合上述影响因子, 选择适宜的天气和足够数量的蝽进行田间释放试验, 进一步明确蝽对草地贪夜蛾的实际控制能力及最佳释放比例。

参考文献 (References)

- Chen R, Liang GW, Zhang ZY, Zeng R, Xian JD, 2015. The functional response of *Cahtheconidea furcellata* (Hemiptera: Asopinae) to *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Environmental Entomology*, 37(2): 401-406. [陈然, 梁广文, 张拯研, 曾嵘, 冼继东, 2015. 叉角厉蝽对斜纹夜蛾的捕食功能反应. 环境昆虫学报, 37(2): 401-406.]
- Chen WB, Li YY, Wang MQ, Liu CX, Mao JJ, Chen HY, Zhang LS, 2019. Natural enemy resources of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*, their application status, and existing problems and suggestions. *Chinese Journal of Biological Control*, 35(5): 658-673. [陈万斌, 李玉艳, 王孟卿, 刘晨曦, 毛建军, 陈红印, 张礼生, 2019. 草地贪夜蛾天敌昆虫资源应用现状及存在的问题与建议. 中国生物防治学报, 35(5): 658-673.]
- Chen WS, Cui ZX, Ren JJ, Wang YB, 2004. Functional responses of *Menochilus sexmaculatus* to peach aphid under different temperature. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 20(1): 69-70. [陈文胜, 崔志新, 任吉君, 王蕴波, 2004. 不同温度下六斑月瓢虫对桃蚜功能反应的研究. 农业

- 系统科学与综合研究, 20(1): 69–70.]
- Chen XQ, Liu QQ, Tian XH, He YX, Qiu LM, Zhan ZX, 2021. Progress in biological control of *Spodoptera frugiperda*. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 36(8): 981–988. [陈秀琴, 刘其全, 田新潮, 何玉仙, 邱良妙, 占志雄, 2021. 草地贪夜蛾生物防治研究进展. 福建农业学报, 36(8): 981–988.]
- Deng HB, Wang Z, Chen YM, Wu WB, Peng WS, 2012. Predation of *Harpactor fuscipes* on *Helicoverpa assulta* and *Spodoptera litura*. *Guangdong Agricultural Sciences*, 39(13): 107–109. [邓海滨, 王珍, 陈永明, 吴文斌, 彭文松, 2012. 红彩真猎蝽对斜纹夜蛾和烟青虫的捕食功能反应. 广东农业科学, 39(13): 107–109.]
- Ding YQ, 1994. Insect Mathematical Ecology. Beijing: Science Press. 257–304. [丁岩钦, 1994. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社. 257–304.]
- Fu YG, Geng ZL, Zhang FP, Jin QA, Wu WJ, 2007. Effects of temperature on predatory functional responses of *Stethorus parapauperculus* to *Tetranychus piercei* adults. *Chinese Journal of Ecology*, 26(9): 1397–1401. [符悦冠, 耿召良, 张方平, 金启安, 吴韦坚, 2007. 温度对拟小食螨瓢虫捕食皮氏叶螨成螨功能反应的影响. 生态学杂志, 26(9): 1397–1401.]
- Gao Z, Zhang LX, Wang GQ, 2009. *Arma chinensis* Fallou protection and utilization as a control agent of sugarbeet insect-pests. *Sugar Crops of China*, 2009(1): 70–72. [高卓, 张李香, 王贵强, 2009. 保护利用蠋蛾防治甜菜害虫. 中国糖料, 2009(1): 70–72.]
- Guo JF, He K, 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, 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.]
- Guo JF, Zhang YJ, Wang ZY, 2022. Research progress in managing the invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in China. *Plant Protection*, 48(4): 79–87. [郭井菲, 张永军, 王振营, 2022. 中国应对草地贪夜蛾入侵研究的主要进展. 植物保护, 48(4): 79–87.]
- Holling CS, 1959. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *The 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.]
- Jarrod TH, Gus ML, Leonard BR, 2015. Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) ecology in southeastern cotton. *Journal of Integrated Pest Management*, 6(1): 1–8.
- Jiang YY, Liu J, Xie MC, Li YH, Yang JJ, Zhang ML, Qiu K, 2019. Observation on law of diffusion damage of *Spodoptera frugiperda* in China in 2019. *Plant Protection*, 45(6): 10–19. [姜玉英, 刘杰, 谢茂昌, 李亚红, 杨俊杰, 张曼丽, 邱坤, 2019. 2019 年我国草地贪夜蛾扩散为害规律观测. 植物保护, 45(6): 10–19.]
- Kalleshwaraswamy CM, Asokan R, Swamy HMM, Maruthi MS, Pavithra HB, Hegde K, Navi S, Prabhu ST, Goergen G, 2018. First report of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), an alien invasive pest on maize in India. *Pest Management in Horticultural Ecosystems*, 24(1): 23–29.
- Kong XX, 2018. Study on life table the controlling effects of different temperatures on *Adonia variegata* (Goeze). Master dissertation. Shihezi: Shihezi University. [孔晓霞, 2018. 不同温度条件下多异瓢虫的生命表及控蚜作用研究. 硕士毕业论文.: 石河子: 石河子大学.]
- Li WW, 2022. Foreign invasion “number one pest”—*Spodoptera frugiperda*. *China Nature*, 2022(3): 58–61. [李维薇, 2022. 外来入侵“头号害虫”——草地贪夜蛾. 大自然, 2022(3): 58–61.]
- Liu XY, 2011. Effect of diet and temperature on the growth, development and reproduction of *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). Master dissertation. Shandong: Shandong Agricultural University. [刘小宇, 2011. 食料和温度对草地贪夜蛾生长发育和繁殖的影响. 硕士毕业论文. 山东: 山东农业大学.]
- Molina-Ochoa J, Carpenter JE, Heinrichs EA, Foster JE, 2003. Parasitoids and parasites of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas and Caribbean Basin: an inventory. *Florida Entomologist*, 86(3): 254–289.
- Montezano DG, Specht A, Sosa-Gómez DR, Roque-Spech VF, Sousa-Silva JC, Paula-Moraes SV, Peterson JA, Hunt TE, 2018. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *African Entomology*, 26(2): 286–300.
- Peng H, 2005. Position and function of biological control in integrated pest management. *Plant Doctor*, 18(3): 4–5. [彭华, 2005. 生物防治在害虫综合治理中的地位和作用. 植物医生, 18(3): 4–5.]
- Sparks AN, 1979. A review of the biology of the fall armyworm. *The Florida Entomologist*, 62(2): 82–87.
- 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. [孙婧婧, 王孟卿, 唐艺婷, 李心钰, 张礼生, 李虎, 2021. 蠋蛾对棉铃虫幼虫的捕食功能反应. 植物保护学报, 48(5): 1081–1087.]
- 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 separate* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae). *Chinese Journal of Biological Control*, 34(6): 825–830. [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.]
- Tang YT, Li YY, Liu CX, Mao JJ, Chen HY, Zhang LS, Wang MQ, 2019. 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, 2019. 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, Li YY, Liu CX, Mao JJ, Chen HY, Zhang LS, 2020. Predation of *Arma chinensis* on *Spodoptera litura* larvae. *Chinese Tobacco Science*, 41(1): 62–66. [唐艺婷, 王孟卿, 李玉艳, 刘晨曦, 毛建军, 陈红印, 张礼生, 2020. 蝽对斜纹夜蛾幼虫的捕食作用. 中国烟草科学, 41(1): 62–66.]
- Todd EL, Poole RW, 1988. Keys and illustrations for the armyworm moths of the noctuid genus *Spodoptera* Guenée from the western hemisphere. *Annals of the Entomological Society of America*, 73(6): 722–738.
- Wang J, 2021. Analysis of olfactory genes diversity and expression in *Arma chinensis*. Doctoral dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [王娟, 2021. 蝽嗅觉基因多样性与差异表达分析. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院.]
- Wang Y, Zhang HM, Yin YQ, Li XY, Zhao XQ, Tang YT, Wang MQ, Chen AD, Chen FS, Zhang LS, 2019. 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. 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.]
- Westbrook JK, Nagoshi RN, Meagher RL, Fleischer SJ, Jairam S, 2016. Modeling seasonal migration of fall armyworm moths. *International Journal of Biometeorology*, 60(2): 255–267.
- Xiao Y, Shan S, Shen XJ, Yin F, Yang XM, Huang XZ, Zhang YJ, Li ZY, 2022. The feeding stress and oviposition preference of *Spodoptera frugiperda* to four species of vegetables. *Journal of Plant Protection*, Doi:10.13802/j.cnki.zwbhxb.2022.2021030. [肖勇, 单双, 沈修婧, 尹飞, 杨现明, 黄欣燕, 张永军, 李振宇, 2022. 草地贪夜蛾对四种蔬菜的胁迫取食和产卵偏好选择. 植物保护学报, Doi:10.13802/j.cnki.zwbhxb.2022.2021030.]
- Xin TR, Gong S, Zou ZW, Xia B, 2013. Effects of temperature on predatory functional responses of *Euseius nicholsi* to *Panonychus citri*. *Journal of Nanchang University (Natural Science)*, 37(5): 480–484, 495. [辛天蓉, 龚舒, 邹志文, 夏斌, 2013. 温度对尼氏真绥螨捕食桔全爪螨功能反应的影响. 南昌大学学报: 理科版, 37(5): 480–484, 495.]
- Yang C, Mu YL, Wang J, Huang CY, Jia FZ, Yu HP, Chen XS, 2021. Starvation tolerance of *Arma chinensis* in different environments at suitable and low temperatures. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 40(2): 84–87. [杨灿, 母银林, 汪洁, 黄纯杨, 贾芳翌, 喻会平, 陈祥盛, 2021. 适宜温度与低温下蝽在不同环境中的耐饥饿研究. 山地农业生物学报, 40(2): 84–87.]
- Yang HW, 2015. Review in utilization of insect natural enemies during the period from 1985 to 2015 in China (Part 1). *Chinese Journal of Biological Control*, 31(5): 603–612. [杨怀文, 2015. 我国农业害虫天敌昆虫利用三十年回顾(上篇). 中国生物防治学报, 31(5): 603–612.]
- Yang XL, Liu YC, Luo MZ, Li Y, Wang WH, Wan F, Jiang H, 2019. The first discovery of *Spodoptera frugiperda* in Jiangcheng county, Yunnan Province. *Yunnan Agriculture*, 2019(1): 72. [杨学礼, 刘永昌, 罗茗钟, 李依, 王文辉, 万飞, 姜虹, 2019. 云南省江城县首次发现迁入我国西南地区的草地贪夜蛾. 云南农业, 2019(1): 72.]
- Zhang L, Jin MH, Zhang DD, Jiang YY, Liu J, Wu KM, Xiao YT, 2019. Molecular identification of invasive fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in Yunnan Province. *Plant Protection*, 45(2): 19–24, 56. [张磊, 靳明辉, 张丹丹, 姜玉英, 刘杰, 吴孔明, 萧玉涛, 2019. 入侵云南草地贪夜蛾的分子鉴定. 植物保护, 45(2): 19–24, 56.]
- Zhang XY, Peng ZQ, Lu YY, Xian JD, 2022. Functional response of *Eocanthecona furcellata* (Wolff) on *Spodoptera frugiperda* (Smith) larvae at different temperatures. *Journal of Environmental Entomology*, 44(2): 237–280. [张晓滢, 彭之琦, 陆永跃, 洗继东, 2022. 不同温度条件下叉角厉蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食作用. 环境昆虫学报, 44(2): 273–280.]
- Zhao Q, 2013. A revision of the Asopinae from China and the study of DNA taxonomy of *Arma*, *Carbula* and *Eysarcoris* (Hemiptera: Pentatomidae). Doctoral dissertation. Tianjin: Nankai University. [赵清, 2013. 中国益蝽亚科修订及蝽属、辉蝽属和二星蝽属的 DNA 分类学研究(半翅目: 蝽科). 博士学位论文. 天津: 南开大学.]
- Zou DY, Wang MQ, Zhang LS, Zhang Y, Zhang XJ, Chen HY, 2012. Taxonomic and bionomic notes on *Arma chinensis* (Fallou) (Hemiptera: Pentatomidae: Asopinae). *Zootaxa*, 3382(1): 41–52.
- Zou DY, Xu WH, Liu BM, Bai YC, Liu XL, Xu JY, Hu X, Gu XS, 2016. Research progress and prospects of *Arma chinensis* Fallou (Hemiptera: Pentatomidae). *Journal of Environmental Entomology*, 38(4): 857–865. [邹德玉, 徐维红, 刘佰明, 白义川, 刘晓琳, 许静杨, 胡霞, 谷希树, 2016. 天敌昆虫蝽的研究进展与展望. 环境昆虫学报, 38(4): 857–865.]