

不同温度下龟纹瓢虫对槐蚜的捕食功能反应

李菲菲^{1,2} 仲丽¹ 邵金丽¹ 刘鹏程² 李广¹ 张凌莉³ 仇兰芬^{1*}

(1. 北京市园林绿化科学研究院, 园林绿地生态功能评价与调控技术北京市重点实验室, 北京 100102;
2. 安徽师范大学生态与环境学院, 安徽 芜湖 241000; 3. 北京市海淀区林业工作站, 北京 100089)

摘要: 为探究温度变化对龟纹瓢虫 *Propylea japonica* Carl Peter Thunberg 捕食槐蚜 *Aphis sophoricola* Guangxue Zhang 能力的影响, 明确其最佳控害效能对应的温度与虫态, 以龟纹瓢虫和槐蚜为研究对象, 设置 20、25 和 30 °C 3 个温度梯度, 分别测定龟纹瓢虫 1~4 龄幼虫及成虫对不同密度槐蚜的捕食量, 并采用 Holling II 型功能反应模型进行拟合分析。结果表明: 各温度下, 各龄期龟纹瓢虫对槐蚜的捕食功能反应均符合 Holling II 型模型。25 °C 时, 龟纹瓢虫 (尤其是低龄幼虫) 的瞬时攻击率为其他温度的 2~5 倍, 处理时间相对较短; 30 °C 时, 龟纹瓢虫 (尤其是高龄幼虫和成虫) 的捕食效率最高, 理论日最大捕食量明显高于其他温度; 20 °C 时, 捕食能力及日最大捕食量则显著下降, 抑制其捕食效率。在 20 °C 和 30 °C 条件下, 成虫是发挥最大控害潜力的最适虫态; 而在 25 °C 条件下, 3 龄幼虫是最适龄期。30 °C 时, 龟纹瓢虫 (尤其是高龄幼虫和成虫) 表现出最高的捕食效率, 其理论日最大捕食量显著高于其他温度。总体上, 龟纹瓢虫控害能力随生长发育逐渐增强, 并在较高的环境温度下达到最大化。研究结果可为田间应用中根据气候条件精准释放适宜虫态的龟纹瓢虫, 高效防控槐蚜提供理论参考。

关键词: 槐蚜; 控害效能; 瞬时攻击率; 捕食效率; 功能反应

中图分类号: S763.35 文献标识码: A 文章编号: 2097-5279(2026)02-0068-07

DOI: 10.27035/j.cnki.issn2097-5279.20260208

Predatory functional responses of *Propylea japonica* larvae and adults to *Aphis sophoricola* under different temperatures

Li Feifei^{1,2} Zhong Li¹ Shao Jinli¹ Liu Pengcheng² Li Guang¹ Zhang Lingli³ Qiu Lanfen^{1*}

(1. Beijing Key Laboratory of Ecological Function Assessment and Regulation Technology of Green Space, Beijing Academy of Forestry and Landscape Architecture, Beijing 100102, China; 2. College of Ecology and Environment, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China;
3. Beijing Haidian District Forestry Work General Station, Beijing 100089, China)

Abstract: This study aimed to investigate the influence of environmental temperatures on the predation ability against *Propylea japonica* larvae and adults for *Aphis sophoricola*, and to identify the optimal temperature and instar for maximum pest suppression efficacy. Under controlled conditions of 20, 25 and 30 °C, *P. japonica* and *A. sophoricola* were applied to quantify the predation rates of 1st to 4th instar larvae and adults on aphids at varying densities. Subsequently, the predation dynamics were analyzed by fitting the data to the Holling type II functional response model. At all tested temperatures, the functional response of *P. japonica* to aphid predation was conformed to fit assumption from the Holling type II model. At 25 °C, the instantaneous attack rate of *P. japonica* (especially young larvae) was 2—5 times higher that at the other two temperatures, and the handling time was also shorter. At 30 °C, *P. japonica* (especially old larvae and adults) exhibited the highest predation efficiency, and its theoretical daily maximum predation capacity was significantly higher than at other temperatures. At 20 °C, the predation capacity and daily maximum predation were markedly reduced, which significantly inhibited predation efficiency. The 2nd instar larvae and adults are the optimal stages for *P. japonica* to exert the maximum control potential against *A. sophoricola* at 20 °C and 30 °C, whereas the 3rd instar larvae are the optimal instar at 25 °C. The 4th instar larvae and adults are the optimal instars and stages at 30 °C. Overall, our study showed that pest control efficacy of *P. japonica* on *A. sophoricola* increased with its developmental maturity and reached its peak at higher ambient temperatures. In summary, this study provides a theoretical basis for releasing *P. japonica* in suitable life

收稿日期: 2026-01-05; 修回日期: 2026-03-10。

基金项目: 园林绿地生态功能评价与调控技术北京市重点实验室开放课题(YKYZD202504, YKYZD202603)。

* 通信作者: 仇兰芬(E-mail: 280548712@qq.com), 教授级高级工程师。

引文格式: 李菲菲, 仲丽, 邵金丽, 等. 2026. 不同温度下龟纹瓢虫对槐蚜的捕食功能反应[J]. 树木医学, 3(2): 68-74.

Li F F, Zhong L, Shao J L, et al. 2026. Predatory functional responses of *Propylea japonica* larvae and adults to *Aphis sophoricola* under different temperatures[J]. Tree Health, 3(2): 68-74.

stages according to climatic conditions in field applications to achieve efficient aphid control.

Keywords: *Aphis sophoricola*; biocontrol potential; instantaneous attack rate; predation efficiency; functional response

槐蚜 *Aphis sophoricola* Guangxue Zhang 是一种常见的刺吸类害虫, 主要危害国槐 *Styphnolobium japonicum* (L.) Schott 等豆科 Fabaceae 植物。槐蚜通过刺吸式口器刺入植物组织, 吸取汁液, 使受害嫩梢、嫩叶弯曲变形, 逐渐枯萎下陷, 并且还会排泄大量蜜露, 对城市绿化景观、林木健康生长和市民生活均造成不良影响。此外, 槐蚜严重暴发也会影响其他昆虫及天敌的种群数量, 进而破坏生态平衡。长期以来, 防治槐蚜主要依赖化学药剂, 但该方法不仅易导致蚜虫产生抗药性, 还会污染生态环境, 对自然天敌等非靶标生物造成负面影响。同时, 由于自然天敌的减少, 进而造成槐蚜再度猖獗暴发, 形成恶性循环。因此, 探究环境友好型可持续治理技术, 尤其是生物防治技术, 已成为当前的研究热点。

龟纹瓢虫 *Propylea japonica* Carl Peter Thunberg 属鞘翅目 Coleoptera 瓢甲科 Coccinellidae, 广泛分布于中国各地, 是一种适应性强的天敌昆虫, 其幼虫和成虫均能捕食多种蚜虫 Aphidoidea、粉虱 Aleyrodidae Westwood 和叶螨 Tetranychidae Donnadieu 等农林害虫, 在自然生态系统中发挥着不可替代的控害作用 (Xu et al., 2025)。与其他瓢虫 Coccinellidae Latreille 相比, 龟纹瓢虫的繁殖力、搜索能力和对多种生境的适应性强, 展现出巨大的生物防治应用潜力 (Wang et al., 2023)。近几年国内外学者围绕龟纹瓢虫的捕食功能、猎物偏好及对环境的影响开展了大量研究, 证实其对多种蚜虫具有较强的控害能力, 且捕食行为符合 Holling II 型功能反应模型。然而, 现有研究多集中于棉蚜 *Aphis gossypii* Glover、豆蚜 *Aphis glycines* Matsumura、桃蚜 *Myzus persicae* (Sulzer) 等作物蚜虫 (单彬等, 2017), 以及蚧虫 *Coccoidea* Fallén (胡长效等, 2019)、蓟马 *Thysanoptera* Haliday (于静亚等, 2023) 等害虫。针对龟纹瓢虫捕食槐蚜的系统性研究仍较为缺乏, 温度、猎物密度等关键因子对其捕食效率的影响尚不明确, 室内捕食参数与田间控害效果的关联也缺乏深入验证。此外, 关于龟纹瓢虫在园林生境下的应用潜力与释放技术的研究较少, 难以支撑槐蚜绿色防控的实际需求。因此, 系统开展龟纹瓢虫各龄期幼虫和成虫对槐蚜的捕食研究, 明确其控害能力, 可为园林害虫生物防治提供理论依据与技术参考。

在捕食者—猎物的相互作用中, 捕食功能反应是量化天敌捕食能力、评估其控害效能的核心理论指

标 (Lavanya et al., 2025)。Holling II 型模型是描述天敌在特定时间内捕食猎物数量随猎物密度变化规律的经典模型, 其参数——瞬时攻击率和处置时间, 能够精确反映天敌的捕食效率 (吴坤君等, 2004)。然而, 天敌的捕食行为受温度和天敌自身发育阶段 (龄期) 等关键因素的显著影响 (Wang et al., 2013)。温度作为最重要的环境因子, 直接影响昆虫的生理代谢和行为活动速率 (刘安然, 2020); 而不同龄期的天敌, 其捕食能力存在巨大差异。现有研究虽涉及龟纹瓢虫的捕食作用 (徐林波等, 2007), 但系统性地探讨温度如何影响龟纹瓢虫各龄期幼虫及成虫对槐蚜的捕食功能反应, 仍较为缺乏。基于此, 本研究通过室内控制试验, 系统测定在 20、25 和 30 °C 3 个温度梯度下, 龟纹瓢虫 1~4 龄幼虫及成虫对槐蚜的捕食功能反应。通过拟合 Holling II 型模型, 明确温度和龄期对其瞬时攻击率和处置时间的作用规律, 以期确定龟纹瓢虫对槐蚜发挥最佳控害作用的最适温度与最有效虫态, 为在实际生产中精准、高效地利用龟纹瓢虫进行槐蚜的生物防治提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

槐蚜采自北京市园林绿化科学研究院试验地, 在室内用国槐苗饲养, 待发育至幼虫 3~4 龄时, 作为供试虫源; 龟纹瓢虫购自北京阔野田园生物技术有限公司, 在室内用槐蚜饲养, 待产卵孵化后, 选取 1~4 龄幼虫和成虫用于捕食试验。

1.2 试验方法

试验在直径 5.0 cm、高 1.5 cm 的培养皿中进行。每个培养皿底部铺置湿润滤纸, 上面铺满新鲜国槐叶片, 再用软毛笔分别挑入龄期与大小相对一致的 3~4 龄若蚜, 随后每皿中放入 1 头龟纹瓢虫。具体温度和猎物密度设计如表 1。每个处理设置 6 个重复, 每个培养皿为 1 个重复。将培养皿置于人工气候箱中, 设定对应温度、相对湿度 50%~70%、光周期 16L : 8D, 24 h 后观察并统计培养皿中存活的槐蚜数量, 计算不同虫态龟纹瓢虫的捕食量。

1.3 数据分析

采用 Holling-II 型圆盘方程进行拟合:

$$Na = \frac{a \cdot Tt \cdot N_0}{(1 + a \cdot Th \cdot N_0)} \quad (1)$$

表 1 龟纹瓢虫对槐蚜的捕食功能反应试验设计

Tab. 1 Experimental design of the predatory functional response of *P. japonica* to *A. sophoricola*

龟纹瓢虫虫态或龄期 <i>P. japonica</i> stage or age	温度 / °C Temperature	猎物密度/头·皿 ⁻¹ Prey density
1龄幼虫 1 st larvae	20	5、10、15、20、25
	25	5、10、15、20、25
	30	5、10、15、20、25
2龄幼虫 2 nd larvae	20	5、10、15、20、25
	25	10、15、20、25、30
	30	10、15、20、25、30
3龄幼虫 3 rd larvae	20	10、20、30、40、50
	25	30、40、50、60、70
	30	20、30、40、50、60
4龄幼虫 4 th larvae	20	20、30、40、50、60
	25	30、40、50、60、70
	30	30、40、50、60、70
成虫 Adult	20	30、40、50、60、70
	25	30、40、50、60、70
	30	50、60、70、80、90

式中: N_a 为龟纹瓢虫捕食槐蚜的数量, N_0 为设置的槐蚜密度, a 为龟纹瓢虫对槐蚜的瞬时攻击速率, Th 为龟纹瓢虫捕食 1 头槐蚜所需要的时间, Tt 为试验持续时间(1 d); $1/Th$ 表示龟纹瓢虫日最大理论捕食量, q/Th 表示龟纹瓢虫的捕食能力, 即控害效能(赵冬梅等, 2025)。

寻找反应方程为:

$$S = \frac{a}{(1 + a \cdot Th \cdot N_0)} \quad (2)$$

使用 SPSS 软件对数据进行回归分析和非参数检验得出 P 值、卡方以及 R^2 (古丽努尔·吐尔洪等, 2025)。

2 结果与分析

2.1 不同温度下龟纹瓢虫对槐蚜的捕食功能反应规律

龟纹瓢虫对槐蚜的实际捕食量随着槐蚜密度增加而逐渐增加, 捕食速率则逐渐降低, 与 Holling- II 模型相符(图 1、2、3、4、5)。

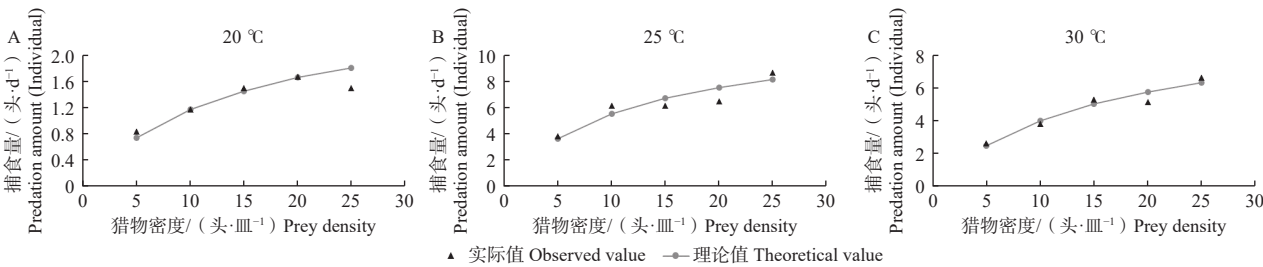


图 1 不同温度下 1 龄瓢虫对槐蚜的捕食功能反应曲线

Fig. 1 Functional response curves of 1-day-old *P. japonica* to *A. sophoricola* at different temperatures

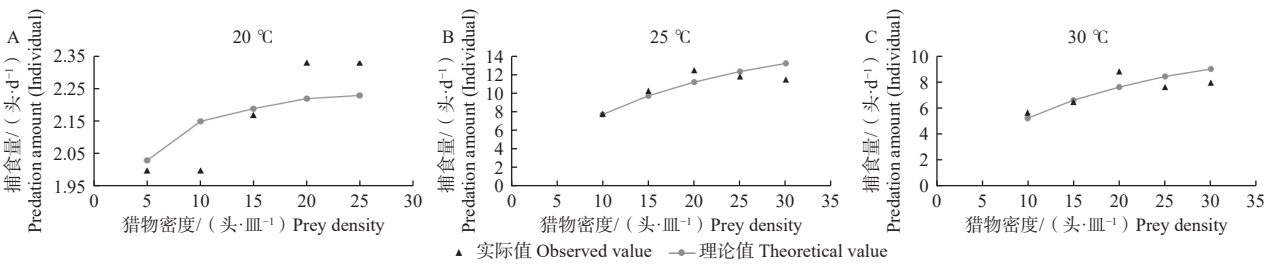


图 2 不同温度下 2 龄瓢虫对槐蚜的捕食功能反应曲线

Fig. 2 Functional response curves of 2-day-old *P. japonica* to *A. sophoricola* at different temperatures

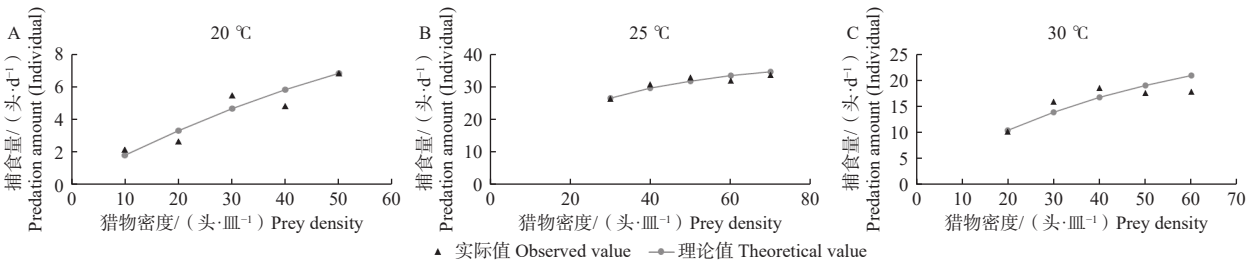


图 3 不同温度下 3 龄瓢虫对槐蚜的捕食功能反应曲线

Fig. 3 Functional response curves of 3-day-old *P. japonica* to *A. sophoricola* at different temperatures

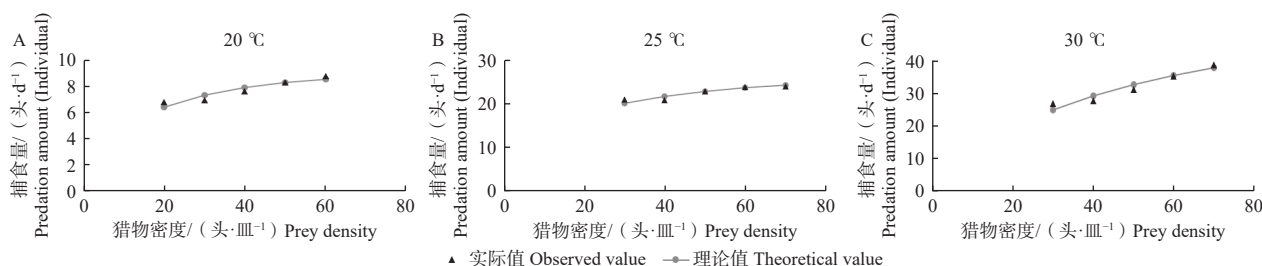


图4 不同温度下4龄瓢虫对槐蚜的捕食功能反应曲线

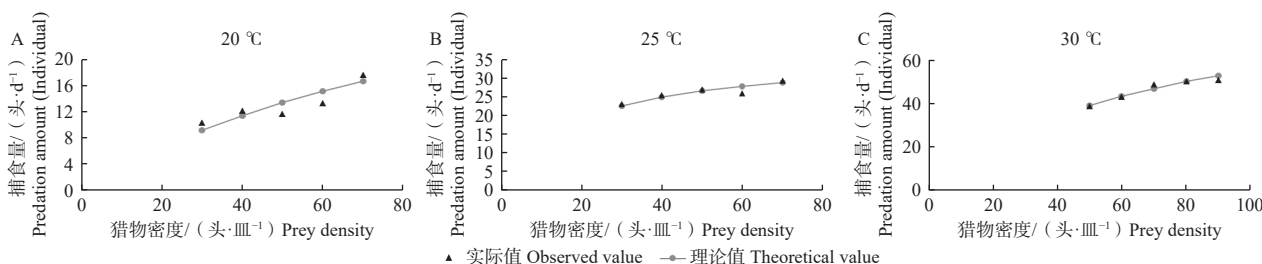
Fig. 4 Functional response curves of 4-day-old *P. japonica* to *A. sophorica* at different temperatures

图5 不同温度下瓢虫成虫对槐蚜的捕食功能反应曲线

Fig. 5 Functional response curves of adult *P. japonica* to *A. sophorica* at different temperatures

采用 Holling II 模型得出各温度下龟纹瓢虫 1~4 龄幼虫和成虫对应的捕食功能反应方程及参数见表 2, 所有线性回归的拟合优度 P 值均大于 0.904, 表明拟合度较高, 捕食功能反应方程能较好反映龟纹瓢虫对槐蚜的捕食关系。通过模型分析, 计算出龟

纹瓢虫对槐蚜的瞬时攻击率、处理时间、捕食能力和日最大捕食量。随着温度的升高, 1~3 龄龟纹瓢虫对槐蚜的实际捕食量先上升后下降, 4 龄和成虫则持续上升。将所得模型经卡方检验, 得出龟纹瓢虫对槐蚜的捕食功能反应符合 Holling-II 模型。

表 2 不同温度下龟纹瓢虫各虫态对槐蚜的捕食功能反应方程及参数

Tab. 2 Functional response models and parameters for predation of *A. sophorica* by different life stages of *P. japonica* under varying temperatures

温度/℃ temperature	虫态 Insect stage	捕食功能反应方程 Functional response equation	R^2	瞬时攻击率 Instant attack rate	处理时间/d Handling time	捕食能力 Predation capacity	日最大捕食量 Maximum daily predation amount (individual)	χ^2	P
20	1龄幼虫 1 st larvae	$Na=0.198N_0/(1+0.070N_0)$	0.887	0.198	0.352	0.564	2.843	0.063	0.999
	2龄幼虫 2 nd larvae	$Na=3.698N_0/(1+1.620N_0)$	0.696	3.698	0.438	8.444	2.284	0.021	0.999
	3龄幼虫 3 rd larvae	$Na=0.197N_0/(1+0.009N_0)$	0.862	0.197	0.044	4.436	22.573	0.529	0.971
	4龄幼虫 4 th larvae	$Na=0.867N_0/(1+0.084N_0)$	0.865	0.867	0.097	8.930	10.299	0.056	0.999
	成虫 adult	$Na=0.389N_0/(1+0.009N_0)$	0.750	0.389	0.023	16.750	43.103	0.690	0.953
25	1龄幼虫 1 st larvae	$Na=1.048N_0/(1+0.089N_0)$	0.837	1.048	0.085	12.401	11.834	0.310	0.989
	2龄幼虫 2 nd larvae	$Na=1.247N_0/(1+0.061N_0)$	0.727	1.247	0.049	25.610	20.534	0.425	0.980
	3龄幼虫 3 rd larvae	$Na=2.228N_0/(1+0.049N_0)$	0.863	2.228	0.022	99.451	44.643	0.169	0.997
	4龄幼虫 4 th larvae	$Na=2.260N_0/(1+0.080N_0)$	0.841	2.260	0.035	65.312	28.902	0.082	0.999
	成虫 adult	$Na=2.027N_0/(1+0.057N_0)$	0.816	2.027	0.028	73.401	36.214	0.160	0.997
30	1龄幼虫 1 st larvae	$Na=0.663N_0/(1+0.064N_0)$	0.935	0.663	0.097	6.853	10.331	0.117	0.998
	2龄幼虫 2 nd larvae	$Na=0.837N_0/(1+0.059N_0)$	0.643	0.837	0.071	11.832	14.144	0.406	0.982
	3龄幼虫 3 rd larvae	$Na=0.691N_0/(1+0.017N_0)$	0.734	0.691	0.024	29.156	42.194	1.040	0.904
	4龄幼虫 4 th larvae	$Na=1.396N_0/(1+0.022N_0)$	0.903	1.396	0.016	85.967	61.576	0.357	0.986
	成虫 adult	$Na=1.318N_0/(1+0.014N_0)$	0.934	1.318	0.011	125.505	95.238	0.161	0.997

由表 2 可知, 20 °C 条件下, 龟纹瓢虫 2 龄幼虫对槐蚜瞬时攻击率最高, 3 龄幼虫最低; 捕食能力从高

到低排序为: 成虫, 4 龄幼虫, 2 龄幼虫, 3 龄幼虫, 1 龄幼虫; 龟纹瓢虫对槐蚜的处理时间从快到慢排序

为: 成虫, 3 龄幼虫, 4 龄幼虫, 1 龄幼虫, 2 龄幼虫; 日最大捕食量从高到低的排列顺序为: 成虫, 3 龄幼虫, 4 龄幼虫, 1 龄幼虫, 2 龄幼虫(表 2)。

25 ℃ 条件下, 龟纹瓢虫 4 龄幼虫对槐蚜瞬时攻击率最高, 1 龄幼虫最低; 捕食能力和日最大捕食量均表现为 3 龄幼虫最高, 成虫次之, 1 龄幼虫最低; 龟纹瓢虫对槐蚜的处理时间也表现出相同规律, 由快到慢排序为: 3 龄幼虫, 成虫, 4 龄幼虫, 2 龄幼虫, 1 龄幼虫(表 2)。

30 ℃ 条件下, 龟纹瓢虫 4 龄幼虫对槐蚜瞬时攻击率最高, 1 龄幼虫最低; 龟纹瓢虫成虫对槐蚜表现出最大的捕食能力, 即最快的处理时间和日最大捕食量, 同时幼虫阶段各参数表现为随着龄期的增加而增加(表 2)。

2.2 不同温度下龟纹瓢虫对槐蚜的寻找效应

由龟纹瓢虫对槐蚜的寻找反应方程可知(表 3),

在 3 个温度梯度下, 各龄期龟纹瓢虫对不同密度槐蚜的寻找反应 S 值均随着猎物密度的增加而降低。随着温度的升高, 1~3 龄幼虫寻找反应的 S 值先升高后降低; 4 龄幼虫和成虫的 S 值则一直上升。S 值在 3 龄幼虫、25 ℃、猎物密度为 30 头·皿⁻¹时最高; 1 龄幼虫、20 ℃、猎物密度为 25 头·皿⁻¹时, S 值最小。1 龄幼虫在 25 ℃、猎物密度为 5 头·皿⁻¹时, S 值最大; 20 ℃、猎物密度为 25 头·皿⁻¹时, S 值最小。2 龄幼虫在 25 ℃、猎物密度为 10 头·皿⁻¹时, S 值最大; 20 ℃、猎物密度为 25 头·皿⁻¹时, S 值最小。3 龄幼虫在 25 ℃、猎物密度为 30 头·皿⁻¹时, S 值最大; 20 ℃、猎物密度为 50 头·皿⁻¹时, S 值最小。4 龄幼虫在 30 ℃、猎物密度为 30 头·皿⁻¹时, S 值最大; 20 ℃、猎物密度为 60 头·皿⁻¹时, S 值最小。成虫在 30 ℃、猎物密度为 50 头·皿⁻¹时, S 值最大; 20 ℃、猎物密度为 70 头·皿⁻¹时, S 值最小。

表 3 龟纹瓢虫对槐蚜的寻找反应方程及参数

Tab. 3 The equation and parameters of searching efficiency of *P. japonica* to *A. sophoricola*

虫态 Insect stage	温度/℃ Temperature	寻找反应方程 Search effect equations	槐蚜密度(寻找效应) <i>A. sophoricola</i> density(searching efficiency)
1龄幼虫 1 st larvae	20	$S=0.198/(1+0.070N_0)$	5(0.15)、10(0.12)、15(0.10)、20(0.08)、25(0.07)
	25	$S=1.048/(1+0.089N_0)$	5(0.73)、10(0.55)、15(0.45)、20(0.38)、25(0.32)
	30	$S=0.663/(1+0.064N_0)$	5(0.51)、10(0.40)、15(0.34)、20(0.29)、25(0.26)
2龄幼虫 2 nd larvae	20	$S=3.698/(1+1.619N_0)$	5(0.41)、10(0.22)、15(0.15)、20(0.11)、25(0.09)
	25	$S=1.247/(1+0.061N_0)$	10(0.77)、15(0.65)、20(0.56)、25(0.49)、30(0.44)
	30	$S=0.837/(1+0.059N_0)$	10(0.53)、15(0.44)、20(0.39)、25(0.34)、30(0.30)
3龄幼虫 3 rd larvae	20	$S=0.197/(1+0.009N_0)$	10(0.18)、20(0.17)、30(0.16)、40(0.15)、50(0.14)
	25	$S=2.228/(1+0.050N_0)$	30(0.89)、40(0.74)、50(0.64)、60(0.56)、70(0.50)
	30	$S=0.691/(1+0.016N_0)$	20(0.52)、30(0.47)、40(0.42)、50(0.38)、60(0.35)
4龄幼虫 4 th larvae	20	$S=0.867/(1+0.084N_0)$	20(0.32)、30(0.25)、40(0.20)、50(0.17)、60(0.14)
	25	$S=2.260/(1+0.078N_0)$	30(0.68)、40(0.55)、50(0.46)、60(0.40)、70(0.35)
	30	$S=1.396/(1+0.023N_0)$	30(0.83)、40(0.73)、50(0.65)、60(0.59)、70(0.53)
成虫 adult	20	$S=0.389/(1+0.023N_0)$	30(0.23)、40(0.20)、50(0.18)、60(0.16)、70(0.15)
	25	$S=2.027/(1+0.056N_0)$	30(0.76)、40(0.63)、50(0.53)、60(0.46)、70(0.41)
	30	$S=1.318/(1+0.014N_0)$	50(0.77)、60(0.72)、70(0.67)、80(0.62)、90(0.58)

3 讨论

瞬时攻击率反映了瓢虫在遇到猎物时的攻击成功率(Shahpouri et al., 2019)。本研究中, 在 20 ℃ 和 30 ℃ 条件下, 瞬时攻击率数值波动较大; 而在 25 ℃ 条件下, 从 1 龄幼虫到成虫, 瞬时攻击率逐渐升高并趋于稳定。瞬时攻击率可能受试验容器大小、猎物密度和瓢虫活跃度等多种因素影响。瞬时攻击率并非决定龟纹瓢虫捕食能力的主要因素。成虫在 25 ℃ 和 30 ℃ 条件下的瞬时攻击率均远高于 20 ℃, 4 龄幼虫也表现出相同的规律。因此, 相对较高的温度(25 ℃ 和 30 ℃)通常能提升龟纹瓢虫的攻击积极性或效率,

而较低的温度则对其产生抑制作用。

处理时间是瓢虫制服、取食并恢复搜索下一头猎物所需的平均时间(Wu et al., 2012), 也是本研究数据集中最关键、变化最显著的指标。在 3 个温度梯度下, 龟纹瓢虫高龄幼虫和成虫处理时间远少于低龄幼虫。同一龄期下, 处理时间与温度呈负相关。20 ℃ 时成虫的处理时间是 30 ℃ 时的 2 倍多, 推测是高温提升了龟纹瓢虫的新陈代谢和消化速度, 使其能更快地完成取食并进入下一次捕食阶段。因此, 龟纹瓢虫的龄期增长和温度升高均能显著缩短其对猎物的处理时间。

捕食能力与日最大捕食量均直接反映瓢虫在单位时间内的实际捕食量,是评估其控害能力的重要指标。在3个温度梯度下,捕食能力和日最大捕食量均随龄期递增,表明龟纹瓢虫的控害能力主要集中在高龄幼虫和成虫阶段。在几乎所有龄期内,25℃和30℃时的捕食能力都远超20℃。以成虫为例,不同温度下的捕食能力由大到小排序为:20℃,25℃,30℃;日最大捕食量在25℃时低于30℃,也略低于20℃,这可能是由于捕食能力是一个理论模型计算值,而日最大捕食量是试验观察或推算的极限值,两者在计算方式上略有差异,但趋势基本一致,即30℃时控害能力最强。因此,在本试验中,30℃是龟纹瓢虫发挥最大捕食潜力的最适温度。国内外围绕龟纹瓢虫捕食规律也有研究(Lin et al., 2022),其对多种蚜虫及小型害虫的捕食均符合Holling-II型功能反应模型;本试验对槐蚜的捕食也符合Holling-II型模型,捕食参数受温度、虫龄、猎物密度等因素影响显著。因本试验在实验室可控条件下完成,还无法完全精准反映天敌在田间实际释放后对害虫的控制效果。自然环境中存在诸多可影响龟纹瓢虫对槐蚜捕食作用的因素,包括环境温度、湿度、猎物密度、捕食者饥饿水平、种间或种内竞争,以及其他生物与非生物因子干扰等。

4 结论

龟纹瓢虫的瞬时攻击率受温度与龄期共同影响,25℃下随龄期升高逐渐趋于稳定,25~30℃较高温度可显著提升瓢虫攻击积极性,而低温20℃则明显抑制其攻击效率。龟纹瓢虫处理猎物时间随龄期增长显著缩短,同一龄期下随温度升高而降低,高温可通过加快新陈代谢与消化速率,缩短取食处理时长,有利于连续捕食。龟纹瓢虫捕食能力、日最大捕食量均随发育龄期升高而提升,高龄幼虫与成虫为主要捕食控害虫态;25~30℃为适宜捕食温度区间,其中30℃条件下捕食潜能与控害效能最优。龟纹瓢虫对槐蚜的捕食功能反应符合Holling-II型模型,捕食参数受温度和发育龄期正向调控明显。室内试验结果可为田间生物防治提供理论参考,但自然条件下复杂的环境将影响其实际控害效果。

总体而言,龟纹瓢虫成虫是捕食主力,其捕食能力和日最大捕食量在不同温度下都能达到较高水平。4龄幼虫是重要的控害阶段,其捕食能力接近成虫水平。25~30℃更适宜龟纹瓢虫捕食,在该温度区间瓢虫的新陈代谢和活动能力最强,处理猎物的速度最

快,单位时间内的捕食量最大;20℃时温度过低,抑制了其捕食效率。在利用龟纹瓢虫进行生物防治时,鉴于成虫和末龄幼虫能够迅速形成较强的控害能力,应优先释放。在自然条件下,槐蚜若在25~30℃时暴发,龟纹瓢虫的自然控害作用最为显著;在早春或晚秋低温时期,龟纹瓢虫的控害效果较差。综上,龟纹瓢虫的捕食能力受温度和发育龄期的共同正向影响,控害能力随自身发育成熟而增强,并在较高的环境温度下达到最大化。本研究可为科学利用龟纹瓢虫治理槐蚜提供理论和数据支持。

参 考 文 献

- 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[J]. 河南农业科学, 48(12): 73-78.
- Hu C X, Cao D, Xu W T. 2019. Effect of different temperatures and spatial scales on predation of *Coccus hesperidum* by *Propylaea japonica*[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 48(12): 73-78. (in Chinese)
- 刘安然. 2020. 温度对昆虫繁殖力的影响及其机制初探[J]. 江西农业(6): 105, 107.
- Liu A R. 2020. Effect of temperature on insect fecundity and its mechanism[J]. *Jiangxi Agriculture*, (6): 105, 107. (in Chinese)
- 单彬,张艳明,黄秀枝,等. 2017. 龟纹瓢虫成虫对玉米蚜捕食作用研究[J]. 农业研究与应用, 30(3): 49-53.
- Shan B, Zhang Y M, Huang X Z, et al. 2017. Predatory function of *Propylaea japonica* to *Rhopalosiphum maidis*[J]. *Agricultural Research and Application*, 30(3): 49-53. (in Chinese)
- 古力努尔·吐尔洪,田果,杨清川,等. 2025. 多异瓢虫对桃蚜的捕食功能反应[J]. 中国农学通报, 41(33): 139-145.
- Turhong G, Tian G, Yang Q C, et al. 2025. Predatory functional response of *Hippodamia variegata* to *Myzus persicae*[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 41(33): 139-145. (in Chinese)
- 吴坤君,盛承发,龚佩瑜. 2004. 捕食性昆虫的功能反应方程及其参数的估算[J]. 昆虫知识(3): 267-269.
- Wu K J, Sheng C F, Gong P Y. 2004. Equation of predator functional response and estimation of the parameters in it[J]. *Entomological Knowledge*, (3): 267-269. (in Chinese)
- 徐林波,刘爱萍,王慧,等. 2007. 龟纹瓢虫对苜蓿蚜的捕食效应(简报)[J]. 草地学报, 15(3): 296-298.
- Xu L B, Liu A P, Wang H, et al. 2007. Predation of *Propylaea japonica* on *Aphis medicaginis*[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 15(3): 296-298. (in Chinese)
- 于静亚,董立坤,王志华,等. 2023. 龟纹瓢虫成虫对3种害虫的捕食作用[J]. 环境昆虫学报, 45(1): 189-195.
- Yu J Y, Dong L K, Wang Z H, et al. 2023. Predation functional response of *Propylaea japonica* adults to three kinds of pests[J]. *Journal of Environmental Entomology*, 45(1): 189-195. (in Chinese)
- 赵冬梅,阙心怡,曾莉玲,等. 2025. 沙巴拟刀角瓢虫对烟粉虱的捕食功能反应[J]. 应用昆虫学报, 62(3): 792-798.
- Zhao D M, Que X Y, Zeng L L, et al. 2025. Functional response of *Pangia sababensis* to *Bemisia tabaci*[J]. *Chinese Journal of Applied*

- [Entomology](#), 62(3): 792–798. (in Chinese)
- Lavanya B, Shanker C, Rana D K, *et al.* 2025. Feeding potential and functional response of anthocorid predator, *Amphiareus constrictus* (Stal.) for biocontrol of rice brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stal[J]. [International Journal of Tropical Insect Science](#), 45(5): 2005–2014.
- Lin X Y, Jie Y Z, Feng J Z, *et al.* 2022. Rising temperatures affect the interspecific interference competition between *Harmonia axyridis* and *Propylea japonica*, and their predation rate on *Myzus persicae*[J]. [Journal of Pest Science](#), 96(2): 695–709.
- Shahpour A, Yarahmadi F, Zandi Sohani N. 2019. Functional response of the predatory species *Orius albidipennis* Reuter (Hemiptera: Anthocoridae) to two life stages of *Bemisia tabaci* (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) [J]. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 29: 14.
- Wang M Q, Zhang H R, Xi Y Q, *et al.* 2023. Population genetic variation and historical dynamics of the natural enemy insect *Propylea japonica* (Coleoptera: Coccinellidae) in China[J]. [Journal of Integrative Agriculture](#), 22(8): 2456–2469.
- Wang S, Tan X L, Guo X J, *et al.* 2013. Effect of temperature and photoperiod on the development, reproduction, and predation of the predatory ladybird *Cheilomenes sexmaculata* (Coleoptera: Coccinellidae)[J]. [Journal of Economic Entomology](#), 106(6): 2621–2629.
- Wu D G, Du J L, Liu C Z, *et al.* 2012. Prey responses of *Propylaea japonica* in different instars to *Acyrtosiphon pisum* under growth chamber condition[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 20(4): 778–783.
- Xu Y, Diao L S, Yang X J, *et al.* 2025. Changes in metabolomics profiles of *Propylea japonica* in response to acute heat stress[J]. [International Journal of Molecular Sciences](#), 26(10): 4541.