

异色瓢虫对两种核桃蚜虫的捕食行为研究*

陈祉颖** 邓秉东 张文佳 马贵龙 高桂珍***

(新疆农业大学林学与风景园林学院, 乌鲁木齐 830052)

摘要 【目的】捕食行为是评价捕食性天敌控害作用的重要依据。异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 是核桃蚜虫的重要捕食性天敌, 本研究旨在明确饥饿与非饥饿状态下异色瓢虫成虫对 2 种不同核桃蚜虫的捕食行为, 为丰富核桃蚜虫生物防治技术提供科学依据。【方法】室内观察了饥饿与非饥饿状态下异色瓢虫成虫对核桃黑斑蚜 *Chromaphis juglandicola* 和核桃全斑蚜 *Panaphis juglandis* 的捕食行为特点、取食量和平均耗时。【结果】异色瓢虫成虫的捕食行为由搜寻、取食、梳理、静息、整翅和排泄 6 个部分组成。在不同饥饿状态和不同猎物种类下, 异色瓢虫成虫各捕食行为的时间占比均为静息>搜寻>梳理>取食>整翅>排泄。与非饥饿状态相比, 饥饿状态的异色瓢虫成虫对核桃黑斑蚜和核桃全斑蚜的取食时间占比分别提升 45.18% 和 62.09%; 饥饿状态下异色瓢虫成虫对 2 种蚜虫的取食量均显著增加 ($P < 0.05$), 其中对核桃黑斑蚜的取食量由 87.5 头增加到 132.9 头, 对核桃全斑蚜的取食量由 52.5 头增加到 104.5 头。异色瓢虫取食 1 头核桃黑斑蚜和核桃全斑蚜的平均耗时分别为 13.10-13.61 和 40.21-48.94 s。【结论】异色瓢虫对两种核桃蚜虫均具有较好的捕食能力, 但其捕食行为受自身饥饿状态和猎物种类的影响。研究结果为多猎物系统中的天敌释放和科学评价天敌控害作用提供理论依据。

关键词 异色瓢虫; 核桃黑斑蚜; 核桃全斑蚜; 捕食行为; 生物防治

Predation of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) on two walnut aphids, *Chromaphis juglandicola* and *Panaphis juglandis*

CHEN Zhi-Ying** DENG Bing-Dong ZHANG Wen-Jia MA Gui-Long GAO Gui-Zhen***

(College of Forestry and Landscape Architecture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract [Aim] To determine the effect of food deprivation on the predatory behavior of the ladybird, *Harmonia axyridis*, on two different walnut aphids, *Chromaphis juglandicola* and *Panaphis juglandis*. [Methods] The predatory behavior of adult *H. axyridis* after different levels of food deprivation was observed in a laboratory and the average time required to complete each stage of the predation process, and the number of aphids consumed, were measured. [Results] Predatory behavior had six stages: Searching, feeding, grooming, resting, vibrating wings and excreting. The proportion of time consumed by each stage could be ranked as follows: Resting > searching > grooming > feeding > vibrating wings > excreting. Compared to the control group which had constant access to food, *H. axyridis* that had been subject to 24 h of food deprivation spent 45.18% more time preying on *C. juglandicola* and 62.09% more time preying on *P. juglandis*. Food deprivation increased the number of *C. juglandicola* consumed from 87.5 to 132.9, and the number of *P. juglandis* from 52.5 to 104.5. The average time required for a ladybird to consume one *C. juglandicola* was 13.10-13.61 seconds, compared to 40.21-48.94 seconds for one *C. juglandicola*. [Conclusion] Food deprivation and prey species have significant effects on the predatory behavior of *H. axyridis* adults.

Key words *Harmonia axyridis*; *Chromaphis juglandicola*; *Panaphis juglandis*; predation behavior; biological control

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金 (31960317); 新疆维吾尔自治区自然科学基金 (2020D01A55); 新疆维吾尔自治区天山英才计划

**第一作者 First author, E-mail: cicichen313@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: gaoguizhen1984@163.com

收稿日期 Received: 2023-10-27; 接受日期 Accepted: 2024-02-12

捕食性天敌对猎物的捕食行为与天敌的保护和利用密切相关,是利用天敌开展生物防治的重要理论依据(姚松林等,2005)。饥饿时间是影响天敌捕食行为的重要因素之一(Jeschke et al.,2002;苗静等,2010)。例如,王卓等(2018)研究发现释放前适度饥饿可以明显提高浅黄恩蚜小蜂 *Encarsia sophia* 对 Q 隐种烟粉虱 *Bemisia tabaci* Q 和温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* 若虫的寄生和取食能力。饥饿程度显著影响拟小食螨瓢虫 *Stethorus* (*Allosstethorus*) *parapauperculus* 对朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* 的取食量,表现为饥饿 48 h > 饥饿 24 h > 未饥饿(陈俊谕等,2020)。姚松林等(2005)研究发现饥饿 24 h 的日本刀角瓢虫 *Serangium japonicum* 雌成虫用于取食的时间显著长于非饥饿状态,而用于清洁、静息和爬行的时间则显著减少。同时,猎物种类也可能影响天敌的捕食行为。研究发现七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* 4 龄幼虫在捕食野豌豆蚜 *Megoura crassicauda* 时,其搜寻、取食、梳理和静息时间与捕食红秋麒麟蚜 *Uroleucon nigrotuberculatum* 存在显著差异(Barry and Ohno,2016)。王根和魏建华(1989)研究表明龟纹瓢虫 *Propylea japonica* 幼虫对棉蚜 *Aphis gossypii*、桃蚜 *Myzus persicae* 和白杨毛蚜 *Chaitophorus populeti* 的捕食行为相似,但对洋槐蚜 *A. robiniae* 的取食时间较长,残留率较高。刘静雅等(2021)研究发现当豌豆修尾蚜 *Megoura japonica* 和扶桑绵粉蚧 *Phenacoccus solenopsis* 共存时,异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 搜索用时比例受猎物种类的影响显著。天敌昆虫的行为是决定其捕食效果的关键因素之一(罗宏伟等,2006),开展天敌昆虫的行为学研究,有助于提高天敌昆虫的生物防治效果(王根,1991)。

核桃黑斑蚜 *Chromaphis juglandicola* (朱晓锋等,2015)与核桃全斑蚜 *Panaphis juglandis* (邢海超等,2018)是危害核桃的主要刺吸式害虫,且危害期重叠。核桃黑斑蚜分布于核桃叶片背面,成蚜体长约 2 mm(杨俊杰和郭德明,1998),在我国大部分核桃产区已有分布,其危

害主要造成嫩叶及果实生长缓慢(Michelbacher and Hitchcock,1958)。核桃全斑蚜分布于核桃叶片正面(Goeze,1778),成蚜体长约 3.5-4.3 mm(Aqaverdi and Inqilab,2018),其成蚜、若蚜体型均明显大于核桃黑斑蚜。核桃全斑蚜目前仅在我国新疆伊犁(邢海超等,2018)和贵州(吴跃开等,2018)发生,是新入侵的有害生物,且在我国适生区广泛,潜在危险性极大(邢海超等,2018;王婷等,2020)。异色瓢虫是 2 种核桃蚜虫的重要捕食性天敌,在 2 种核桃蚜虫的生物防治中具有重要价值(刘思琪等,2020;邵锦瑞等,2021),但异色瓢虫对 2 种核桃蚜虫的捕食行为研究尚未见报道。本研究以核桃黑斑蚜和核桃全斑蚜为猎物,观察不同饥饿状态下异色瓢虫成虫的捕食行为特点,为充分发挥异色瓢虫对 2 种核桃蚜虫的控害作用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

异色瓢虫成虫、核桃全斑蚜和核桃黑斑蚜均于 2021 年 8 月采自新疆伊犁州巩留县核桃园(43°23'47" N, 82°15'52" E)。采回的异色瓢虫置于温度(25±1)℃、相对湿度 60%±10%、光周期 14L:10D 的人工气候箱(宁波江南仪器厂,RXZ-280B)中,用核桃黑斑蚜和核桃全斑蚜混合饲养一代后供试。室外采用纱网笼罩叶片隔绝天敌,大量繁育核桃蚜虫,选取核桃全斑蚜和核桃黑斑蚜的 2-3 龄若蚜供试。

1.2 试验设计

在培养皿(90 mm×15 mm)底部放入浸湿的滤纸,将干净的核桃叶片平铺于滤纸上,培养皿内接入不同种类猎物(核桃黑斑蚜对应的核桃叶片背面朝上,核桃全斑蚜对应的核桃叶片正面朝上),猎物密度均为 180 头/皿。异色瓢虫成虫(羽化后 3-7 d)饱食后分别饥饿 0 和 24 h 再进行试验。试验设 4 个处理,处理 1:将饥饿 0 h 的单头异色瓢虫成虫放入接有核桃黑斑蚜的培养皿内;处理 2:将饥饿 24 h 的单头异色瓢虫成

虫放入接有核桃黑斑蚜的培养皿内; 处理 3: 将饥饿 0 h 的单头异色瓢虫成虫放入接有核桃全斑蚜的培养皿内; 处理 4: 将饥饿 24 h 的单头异色瓢虫成虫放入接有核桃全斑蚜的培养皿内。室内 23-28 °C 常温下利用高清视频解剖镜 (倍特卡尔, XTL-6745TJ1-720HD 型) 连续跟踪观察 12 h, 记录异色瓢虫对不同种类猎物的搜寻、取食、梳理等捕食行为、各行为时间占比、取食量和平均耗时。每个处理重复 8 次, 雌雄成虫各 4 次。

1.3 数据分析

采用 Excel 2010 对数据进行整理, 利用 SPSS 23.0 软件进行饥饿状态和猎物种类双因素方差分析 (Two-way ANOVA), 以 LSD 法进行差异显著性的多重比较 (显著性水平 $\alpha = 0.05$)。为满足统计检验的数据分布正态性假定, 所有原始数据均经正态转换后进行统计处理 (龚学臣, 2014)。采用 Origin 2018 软件作图。

2 结果与分析

2.1 异色瓢虫对两种核桃蚜虫的捕食行为

通过录像观察及分析, 异色瓢虫成虫对 2 种核桃蚜虫的捕食行为均包括搜寻、取食、梳理、静息、整翅和排泄 6 个部分 (图 1)。

搜寻: 处于饥饿状态的异色瓢虫放入培养皿后, 开始无规则搜寻, 下颚须和下唇须会不停地触碰叶面或猎物, 搜寻期间偶尔伴有梳理行为发生。

取食: 异色瓢虫搜寻到核桃蚜虫后, 迅速紧咬虫体, 然后开始嚼食, 直至取食完整 1 头蚜虫为止, 之后开始梳理或静息。非饥饿状态的异色瓢虫从放入培养皿开始到捕食第 1 头核桃蚜虫最短耗时 25 min, 最长耗时 285 min, 饥饿状态下的异色瓢虫最短耗时 0.38 min, 最长耗时 26 min。根据观察可知, 异色瓢虫可从核桃蚜虫的头部、胸部和腹部 3 个不同部位咬食, 其中以头部最为常见。

梳理: 多发生在静息、搜寻间或取食和排泄后, 包括梳理触角、下颚须、下唇须以及身体的

腹面、体背、鞘翅和足。

静息: 异色瓢虫原地不动休息, 将胸足折叠于身体的腹面, 受到外界惊扰时会迅速离开。

整翅: 发生在静息、搜寻间或梳理后, 展翅时慢慢张开两侧鞘翅, 后翅从腹部背面伸出, 呈欲飞行状, 身体略往前倾且有节奏的抖动。

排泄: 瓢虫的排泄行为时常发生在静息和取食后, 偶尔发生在搜寻过程中。排泄时腹末会前后伸缩, 大多以排出深褐色固状物为主, 偶尔会有淡黄色液状物排出。

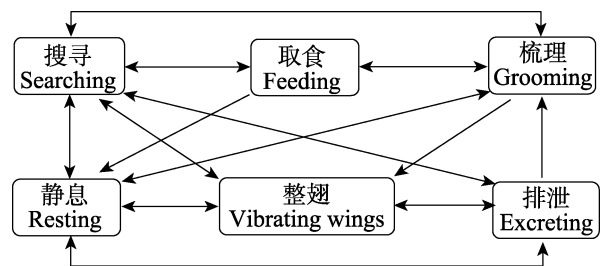


图 1 异色瓢虫捕食核桃黑斑蚜和核桃全斑蚜的行为过程

Fig. 1 Behavioral process of *Harmonia axyridis* preying on *Chromaphis juglandicola* and *Panaphis juglandis*

2.2 饥饿状态和猎物种类对异色瓢虫各捕食行为时间占比的影响

从表 1 可以看出, 饥饿状态对异色瓢虫搜寻、取食、静息和排泄时间占比的影响均为极显著 ($P < 0.01$), 对异色瓢虫梳理和整翅时间占比影响显著 ($P < 0.05$); 猎物种类对异色瓢虫搜寻、取食和排泄时间占比的影响均为极显著 ($P < 0.01$), 对异色瓢虫梳理和整翅时间占比影响显著 ($P < 0.05$); 饥饿状态和猎物种类对异色瓢虫搜寻、梳理和静息时间占比有交互作用 ($P < 0.01$), 对异色瓢虫取食、整翅和排泄时间占比没有交互作用 ($P > 0.05$)。

如图 2 所示, 在不同饥饿状态和不同猎物种类下, 异色瓢虫成虫各捕食行为的时间占比均为静息>搜寻>梳理>取食>整翅>排泄。捕食 2 种不同猎物种类, 饥饿状态下异色瓢虫捕食核桃黑斑蚜的搜寻 (图 2: A, $P < 0.001$)、梳理 (图 2: C, $P < 0.001$) 和整翅 (图 2: E, $P < 0.01$) 时间

表 1 采用双因素方差分析饥饿状态和猎物种类对异色瓢虫各捕食行为时间占比的影响

Table 1 Effect of starvation and prey species on proportion time of predation behavior of *Harmonia axyridis* analyzed by two-way ANOVA

捕食行为 Predation behavior	因子 Factor	自由度 <i>df</i>	<i>F</i> 值 <i>F</i> -value	<i>P</i> 值 <i>P</i> -value
搜寻 Searching	饥饿状态 Starvation	1	10.556	0.003
	猎物种类 Prey species	1	15.354	0.001
	饥饿状态×猎物种类 Starvation × Prey species	1	11.482	0.002
取食 Feeding	饥饿状态 Starvation	1	17.231	< 0.001
	猎物种类 Prey species	1	58.702	< 0.001
	饥饿状态×猎物种类 Starvation × Prey species	1	1.876	0.182
梳理 Grooming	饥饿状态 Starvation	1	11.057	0.020
	猎物种类 Prey species	1	4.917	0.035
	饥饿状态×猎物种类 Starvation × Prey species	1	28.973	< 0.001
静息 Resting	饥饿状态 Starvation	1	36.570	< 0.001
	猎物种类 Prey species	1	2.415	0.131
	饥饿状态×猎物种类 Starvation × Prey species	1	17.689	< 0.001
整翅 Vibrating wings	饥饿状态 Starvation	1	6.798	0.014
	猎物种类 Prey species	1	7.567	0.010
	饥饿状态×猎物种类 Starvation × Prey species	1	2.790	0.106
排泄 Excreting	饥饿状态 Starvation	1	12.713	0.001
	猎物种类 Prey species	1	0.005	0.004
	饥饿状态×猎物种类 Starvation × Prey species	1	0.213	0.554

占比较捕食核桃全斑蚜显著增加,而取食(图 2: B, $P < 0.001$)和静息(图 2: D, $P < 0.01$)时间占比显著降低;非饥饿状态下异色瓢虫捕食核桃全斑蚜取食时间占比显著高于捕食核桃黑斑蚜(图 2: B, $P < 0.001$),其他行为时间占比无显著差异($P > 0.05$)。与非饥饿状态相比,饥饿状态下异色瓢虫成虫取食(图 2: B, 核桃黑斑蚜: $P < 0.05$; 核桃全斑蚜: $P < 0.01$)和排泄(图 2: F, 核桃黑斑蚜: $P < 0.05$; 核桃全斑蚜: $P < 0.05$)时间占比显著增加。

2.3 饥饿状态和猎物种类对异色瓢虫取食量的影响

从表 2 可以看出,饥饿状态和猎物种类对异色瓢虫取食量的影响均为极显著($P < 0.01$),饥饿状态和猎物种类对异色瓢虫的取食量没有交互作用($P > 0.05$)。

如图 3 所示,与非饥饿状态相比,饥饿状态下异色瓢虫成虫取食量显著升高(核桃黑斑蚜: $P < 0.001$; 核桃全斑蚜: $P < 0.01$),其中对核桃黑斑蚜的取食量由 87.5 头增加到 132.9 头,对核桃全斑蚜的取食量由 52.5 头增加到 104.5 头。相同饥饿状态的异色瓢虫对核桃黑斑蚜的取食量显著高于核桃全斑蚜(饥饿 0 h: $P < 0.001$; 饥饿 24 h: $P < 0.05$)。

2.4 饥饿状态和猎物种类对异色瓢虫取食 1 头核桃蚜虫平均耗时的影响

从表 3 可以看出,饥饿状态对异色瓢虫取食 1 头核桃蚜虫平均耗时的影响不显著($P > 0.05$);猎物种类对异色瓢虫取食 1 头核桃蚜虫平均耗时的影响极显著($P < 0.01$);饥饿状态和猎物种类对异色瓢虫取食 1 头核桃蚜虫平均耗时没有交互作用($P > 0.05$)。

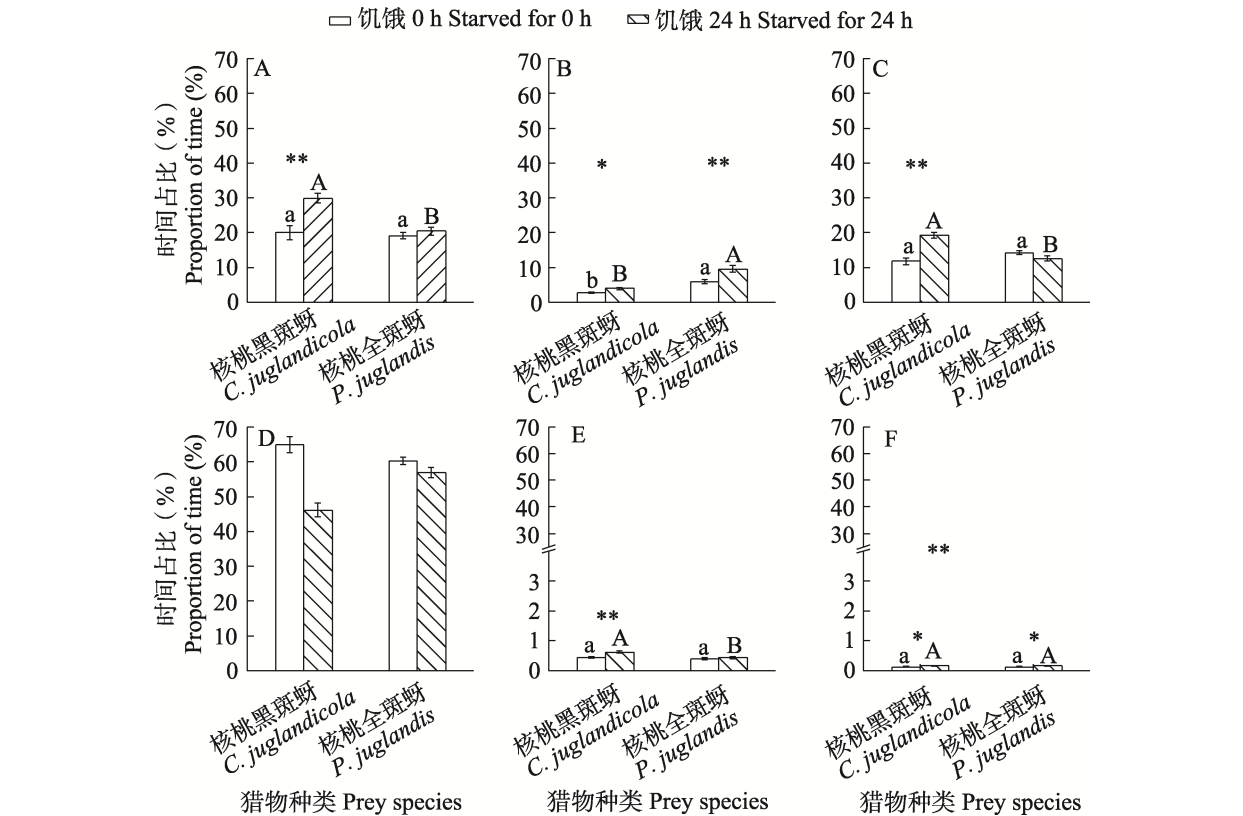


图2 不同饥饿状态下异色瓢虫对核桃黑斑蚜和核桃全斑蚜的各捕食行为时间占比
Fig. 2 Proportion time of predation behavior by *Harmonia axyridis* on *Chromaphis juglandicola* and *Panaphis juglandis* under different starvation

A. 搜寻; B. 取食; C. 梳理; D. 静息; E. 整翅; F. 排泄。图中数据为平均值±标准误。柱上标有不同小写字母表示非饥饿状态下异色瓢虫对不同猎物种类的时间占比差异显著 ($P < 0.05$, LSD 法), 不同大写字母表示饥饿状态下异色瓢虫对不同猎物种类条件的时间占比差异显著 ($P < 0.05$, LSD 法), *和**分别表示相同猎物种类条件下不同饥饿状态异色瓢虫的时间占比在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平下差异显著 (LSD 法)。下同。

A. Searching; B. Feeding; C. Grooming; D. Resting; E. Vibrating wings; F. Excreting. Data in the figure are mean±SE. Histograms with different small letters indicate significant difference at the proportion time of different prey species under non-starvation conditions ($P < 0.05$, LSD test), while with different capital letters indicate significant difference at the proportion time of different prey species under starvation conditions ($P < 0.05$, LSD test), * and ** indicate that the time proportion of *H. axyridis* in different starvation conditions under the same prey species are significantly different at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ levels (LSD test), respectively. The same below.

表2 饥饿状态与猎物种类对异色瓢虫取食量影响的方差分析 (P 值)

Table 2 ANOVA of the effects of starvation and prey species on the number of aphids consumed by *Harmonia axyridis* (P-value)

因子 Factor	P 值 P-value
饥饿状态 Starvation	< 0.001
猎物种类 Prey species	< 0.001
饥饿状态×猎物种类 Starvation × Prey species	0.652

如图 4 所示, 相同饥饿状态的异色瓢虫取食 1 头核桃全斑蚜的平均耗时显著大于取食核桃黑

斑蚜(饥饿 0 h: $P < 0.001$; 饥饿 24 h: $P < 0.001$), 其中异色瓢虫取食 1 头核桃全斑蚜的平均耗时为 40.21-48.94 s, 取食 1 头核桃黑斑蚜的平均耗时为 13.10-13.61 s。

3 结论与讨论

捕食者在长期协同进化过程中, 能根据外界环境条件变化调节捕食行为, 逐渐形成如坐等捕食式、积极搜索式和依猎物密度变化的混合式生态对策, 以便获得最大的能量, 减少生存风险 (Wiegert and Petersen, 1983; 戈峰, 1997)。本

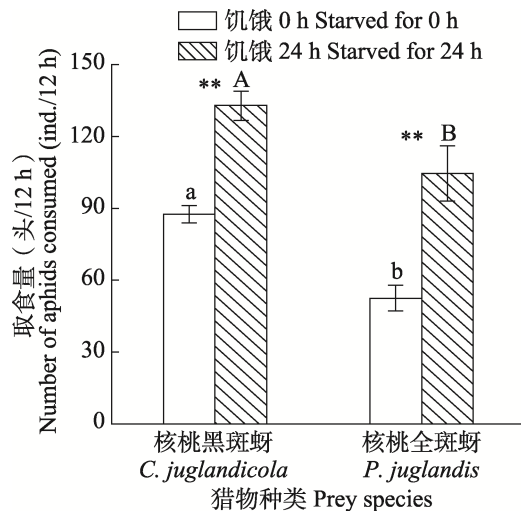


图 3 不同饥饿状态下异色瓢虫对核桃黑斑蚜和核桃全斑蚜的取食量

Fig. 3 Number of aphids consumed by *Harmonia axyridis* on *Chromaphis juglandicola* and *Panaphis juglandis* under different starvation

表 3 饥饿状态与猎物种类对异色瓢虫取食 1 头核桃蚜虫平均耗时影响的方差分析 (P 值)

Table 3 ANOVA of the effects of starvation and prey species on the average time consumed by *Harmonia Axyridis* on walnut aphids (P-value)

因子 Factor	P 值 P-value
饥饿状态 Starvation	0.540
猎物种类 Prey species	< 0.001
饥饿状态 × 猎物种类 Starvation × Prey species	0.086

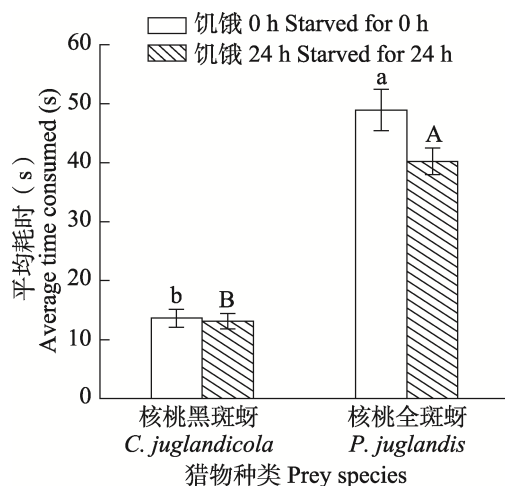


图 4 不同饥饿状态下异色瓢虫取食 1 头核桃黑斑蚜或核桃全斑蚜的平均耗时

Fig. 4 The average time consumed by *Harmonia axyridis* feeding on a *Chromaphis juglandicola* or *Panaphis juglandis* under different starvation

文试验结果表明, 异色瓢虫的捕食行为由静息、搜寻、取食、梳理、整翅和排泄 6 个部分组成, 与大部分捕食性瓢虫 (Guershon and Gerling, 1999; 罗宏伟等, 2006) 一致。异色瓢虫捕食策略多为积极搜索式, 当其处于静息状态且有猎物经过时, 采取坐等捕食式, 这与拟小食螨瓢虫 *S. parapauperculus* 的觅食行为相似 (马华博等, 2016)。

天敌昆虫自身饥饿时间显著影响捕食行为的发生, 已有研究表明, 二星瓢虫 *Adalia bipunctata* (Dimetry, 1976)、沙巴拟刀角瓢虫 *Serangiella sababensis* 和越南斧瓢虫 *Axinoscymnus apioides* (苗静等, 2010) 等天敌在饥饿状态下的捕食行为与非饥饿状态存在显著差异。本文中饥饿状态的异色瓢虫成虫投放至培养皿后, 能在短时间内取食猎物; 与非饥饿状态相比, 饥饿状态下异色瓢虫取食量更大, 取食和排泄时间占比显著增加。这可能是由于处于饥饿状态的异色瓢虫更需补充自身能量, 放入培养皿后会更快取食更多的猎物, 取食和排泄时间也随取食量的增大而增加。

猎物自身特性显著影响天敌的捕食行为, 本文在不同猎物种类条件下, 相同饥饿状态的异色瓢虫取食 1 头核桃全斑蚜的平均耗时显著长于核桃黑斑蚜, 且对核桃黑斑蚜的取食量显著高于核桃全斑蚜。这可能是由于同一龄期下核桃全斑蚜的体型明显大于核桃黑斑蚜导致。同时, 猎物的分布方式也影响天敌的控害作用 (丁岩钦, 1980), 本文中饥饿状态的异色瓢虫捕食核桃黑斑蚜的搜寻时间占比较核桃全斑蚜显著增加, 静息时间占比较后者显著降低, 可能是由于 2 种核桃蚜虫分布方式不同所致。核桃全斑蚜沿着主叶脉集中呈两排排列 (邢海超等, 2018), 核桃黑斑蚜在叶片背面随机分布, 且核桃黑斑蚜较核桃全斑蚜更活跃, 活动能力更强, 因此异色瓢虫对核桃黑斑蚜的搜寻范围扩大, 搜寻时间占比增加, 静息时间占比减少。诸多学者如 Waage (1983)、嵯庆才和 Jervis (1988) 研究发现天敌昆虫能“识别”高猎物密度区域, 并聚集在猎物密度高的区域内活动。本研究未设定不同的密度梯度, 猎物密度对异色瓢虫捕食行为的影响还有

待进一步研究。

本文研究结果表明, 饥饿状态下异色瓢虫对两种核桃蚜虫的取食时间占比和取食量明显提升, 取食量均在 100 头/12 h 以上, 具有较好的捕食能力, 生产中可适期释放饥饿状态异色瓢虫用于防治两种核桃蚜虫。自然条件下天敌的控害能力同时受空间异质性(张世泽等, 2006)、温度和光周期(Chen *et al.*, 2019)等多种因素影响, 且由于两种核桃蚜虫的体型和分布特征明显不同, 异色瓢虫的捕食行为也不同, 当多种猎物同时存在时, 天敌的取食选择还有待进一步明确。

致谢: 新疆农业大学林学与风景园林学院森林保护专业 2017 级学生姑尔尼沙木·艾拜、苏比努尔·艾沙江、艾力亚·艾热特和古力沙娜·马德尼汗同学参加部分研究工作, 谨致谢忱。

参考文献 (References)

- Aqaverdi NI, Inqilab NG, 2018. Some bioecological peculiarities of *Panaphis juglandis* (Goeze, 1778) and *Chromaphis juglandicola* (Kaltenbach, 1843) (Hemiptera, Aphididae) the pests of Persian walnut (*Juglans regia* L.) in Azerbaijan. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(2): 800–803.
- Barry A, Ohno K, 2016. Alterations in foraging behavior of *Coccinella septempunctata* and *Propylea japonica* mediated by a novel defended prey affect their predatory potential. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 161(1): 31–38.
- Chen JY, Wang JY, Zhang FP, Li L, Han DY, Zhang CH, Fu YG, 2020. Predation of *Stethorus (Allosstethorus) parapauperculus* in different extent of starvation to *Tetranychus cinnabarinus*. *Journal of Environmental Entomology*, 42(5): 1201–1209. [陈俊谕, 王建赞, 张方平, 李磊, 韩冬银, 章程辉, 符悦冠, 2020. 不同饥饿程度拟小食螨瓢虫对朱砂叶螨的捕食作用. 环境昆虫学报, 42(5): 1201–1209.]
- Chen X, Xiao D, Du XY, Zhang F, Zang LS, Wang S, 2019. Impact of polymorphism and abiotic conditions on prey consumption by *Harmonia axyridis*. *Entomologia Generalis*, 39(3/4): 251–258.
- Dimetry NZ, 1976. Studies on the cannibalistic behaviour of the predatory larvae of *Adalia bipunctata* L. (Col. Coccinellidae). *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 81(1/4): 156–163.
- Ding YQ, 1980. Principle and Application of Mathematical Ecology of Insect Population. Beijing: Science Press. 194–195. [丁岩钦, 1980. 昆虫种群数学生态学原理与应用. 北京: 科学出版社. 194–195.]
- Ge F, 1997. Research progress of insect predation behavior ecology. *Entomological Knowledge*, 34(6): 371–374. [戈峰, 1997. 昆虫捕食行为生态学研究进展. 昆虫知识, 34(6): 371–374.]
- Goeze JAE, 1778. Entomologische Beyträge zu des Ritter Linné zwölften Ausgabe des Natursystems. II. Leipzig: Bey Weidmanns Erben und Reich. 352.
- Guershon M, Gerling D, 1999. Predatory behavior of *Delphastus pusillus* in relation to the phenotypic plasticity of *Bemisia tabaci* nymphs. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 92(3): 239–248.
- Jeschke JM, Kopp M, Tollrian R, 2002. Predator functional responses: Discriminating between handling and digesting prey. *Ecological Monographs*, 72(1): 95–112.
- Gong XC, 2014. Experimental statistics and the application of SPSS. Beijing: Science Press. 92–106. [龚学臣, 2014. 试验统计方法及 SPSS 应用. 北京: 科学出版社. 92–106.]
- Liu JY, Li ZM, Li BP, Meng L, 2021. Foraging and predation behaviors of the harlequin ladybird, *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae), on the alien cotton mealybug *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae) coexisting with a native aphid. *Acta Entomologica Sinica*, 64(2): 223–229. [刘静雅, 李卓苗, 李保平, 孟玲, 2021. 异色瓢虫对与本土蚜虫共存的外来扶桑绵粉蚧的搜寻和捕食行为. 昆虫学报, 64(2): 223–229.]
- Liu SQ, Wang Q, Gao GZ, 2020. *Harmonia axyridis* and *Coccinella septempunctata*: Predation comparison to *Chromaphis juglandicola*. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 36(17): 118–122. [刘思琪, 王强, 高桂珍, 2020. 异色瓢虫和七星瓢虫对核桃黑斑蚜捕食能力比较. 中国农学通报, 36(17): 118–122.]
- Luo HW, Huang J, Wang ZH, 2006. Observation of predatory behavior of *Delphastus catalinae* on *Bemisia tabaci*. *Chinese Journal of Biological Control*, 22 (S1): 14–16. [罗宏伟, 黄建, 王竹红, 2006. 小黑瓢虫捕食行为的观察. 中国生物防治, 22(S1): 14–16.]
- Ma HB, Chen JY, Hu ZH, Zhang FP, Han DY, Fu YG, 2016. Predatory behavior of *Stethorus parapauperculus* adult on *Tetranychus cinnabarinus*. *Journal of Environmental Entomology*, 38(2): 293–298. [马华博, 陈俊谕, 胡志慧, 张方平, 韩冬银, 符悦冠, 2016. 拟小食螨瓢虫成虫对朱砂叶螨的觅食行为. 环境昆虫学报, 38(2): 293–298.]
- Miao J, Li SJ, Qiu BL, Ren SX, 2010. The predatory behaviors of *Serangiella sababensis* and *Axinoscymnus apioides*. *Chinese*

- Bulletin of Entomology*, 47(4): 700–704. [苗静, 李绍建, 邱宝利, 任顺祥, 2010. 烟粉虱天敌沙巴拟刀角瓢虫与越南斧瓢虫的捕食行为比较. 昆虫知识, 47(4): 700–704.]
- Michelbacher AE, Hitchcock S, 1958. Walnut aphid investigations in northern California. *Journal of Economic Entomology*, 51(4): 527–532.
- Tai JR, Liu SQ, Gao GZ, 2021. Predatory functional response of different stages of *Harmonia axyridis* Pallas on *Panaphis juglandis* Goeze. *Chinese Journal of Biological Control*, 37(6): 1338–1343. [邵锦瑞, 刘思琪, 高桂珍, 2021. 不同龄期异色瓢虫对核桃全斑蚜的捕食功能反应. 中国生物防治学报, 37(6): 1338–1343.]
- Waage JK, 1983. Aggregation in field parasitoid populations: Foraging time allocation by a population of *Diadegma* (Hymenoptera, Ichneumonidae). *Ecological Entomology*, 8(4): 447–453.
- Wang G, Wei JH, 1989. Study on selective feeding behavior of *Propylaea japonica*. *Journal of Northwest A & F University*, 17(2): 28–34. [王根, 魏建华, 1989. 龟纹瓢虫选择取食行为的研究. 西北农林科技大学学报, 17(2): 28–34.]
- Wang G, 1991. Foraging behavior of predatory ladybugs. *Entomological Knowledge*, 28(5): 316–319. [王根, 1991. 捕食性瓢虫的觅食行为. 昆虫知识, 28(5): 316–319.]
- Wang T, Ma DY, Liu XX, Zhang P, Gao GZ, Lü ZZ, 2020. Analysis of potential suitable areas of two walnut aphids based on CLIMEX. *Journal of Biosafety*, 29(2): 115–122. [王婷, 马德英, 刘孝贤, 张苹, 高桂珍, 吕昭智, 2020. 基于 CLIMEX 的 2 种核桃蚜虫潜在适生区分析. 生物安全学报, 29(2): 115–122.]
- Wang Z, Liu LZ, Zang LS, Dai P, Liu XJ, Ruan CC, 2018. Effects of moderate food deprivation on parasitism and host feeding of parasitoid *Encarsia sophia* on white flies *Bemisia tabaci* Q and *Trialeurodes vaporariorum*. *Journal of Plant Protection*, 45(4): 745–750. [王卓, 刘林州, 臧连生, 戴鹏, 刘显娇, 阮长春, 2018. 适度饥饿浅黄恩蚜小蜂对烟粉虱和温室白粉虱的寄生和取食选择. 植物保护学报, 45(4): 745–750.]
- Wei QC, Jervis MA, 1988. Predatory behavior of *Cyrtorhinus lividipennis* to unevenly distributed prey. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 10(2): 245–252. [巍庆才, Jervis MA, 1988. 黑肩绿盲蝽对不均匀分布猎物的捕食行为. 西南大学学报(自然科学版), 10(2): 245–252.]
- Wiegert RG, Petersen CE, 1983. Energy transfer in insects. *Annual Review of Entomology*, 28: 455–486.
- Wu YK, Yang X, Fu L, 2018. First record of *Panaphis juglandis* (Goeze) on walnut plantation in Guizhou, China. *Plant Quarantine*, 32(5): 50–53. [吴跃开, 杨霞, 付莉, 2018. 贵州首次发现核桃上的新害虫—核桃全斑蚜. 植物检疫, 32(5): 50–53.]
- Xing HC, Lv ZZ, Zhao L, Zhang X, Gao GZ, Luo ZH, 2018. Potential risks of dusky-veined walnut aphid, *Panaphis juglandis* (Goeze) (Hemiptera: Aphididae) in China. *Journal of Environmental Entomology*, 40(4): 769–774. [邢海超, 吕昭智, 赵莉, 张鑫, 高桂珍, 罗朝辉, 2018. 警惕核桃全斑蚜的潜在危害风险. 环境昆虫学报, 40(4): 769–774.]
- Yang JJ, Guo DM, 1998. Biological characteristics and control of *Chromaphis juglandicola*. *Deciduous Fruits*, 30(2): 23. [杨俊杰, 郭德明, 1998. 核桃黑斑蚜的生物学特性及防治. 落叶果树, 30(2): 23.]
- Yao SL, Ren SX, Huang Z, 2005. Feeding behavior of *Serangium japonicum* (Coleoptera: Coccinellidae), a predator of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 16(3): 509–513. [姚松林, 任顺祥, 黄振, 2005. 烟粉虱天敌日本刀角瓢虫的捕食行为. 应用生态学报, 16(3): 509–513.]
- Zhang SZ, Wu L, Xu XL, Hua BZ, 2006. Predation of *Orius minutus* on *Odontothrips loti*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 17(7): 1259–1263. [张世泽, 吴林, 许向利, 花保祯, 2006. 小花蝽对牛角花齿蓟马的捕食作用. 应用生态学报, 17(7): 1259–1263.]
- Zhu XF, Song B, Xu BQ, Kader AK, Li H, Yang S, 2015. Effect of intercrop on the population of the walnut aphid and its major natural enemies. *Journal of Environmental Entomology*, 37(6): 1170–1175. [朱晓锋, 宋博, 徐兵强, 阿布都克尤木·卡德尔, 李宏, 杨森, 2015. 间作作物对核桃黑斑蚜及主要天敌种群的影响. 环境昆虫学报, 37(6): 1170–1175.]