

叉角厉蝽不同虫态的扩散能力研究

杨昌和¹, 田永明¹, 段思言¹, 陈晓¹, 陈岗², 吴国星¹, 高熹^{1*}

1. 云南农业大学植物保护学院, 云南昆明 650201; 2. 云南省烟草公司楚雄州公司, 云南楚雄 675000

摘要: 为了探究叉角厉蝽 [*Eocanthecona furcellata* (Wolff)] 不同虫态的扩散能力差异及其动态规律, 本研究通过在烟田和大棚内释放 3~5 龄若虫和成虫, 在大棚条件下对其释放时间、空间分布、扩散系数以及定殖率等方面进行研究, 以及在田间条件下测定其不同虫态的扩散速度。结果表明: 12~48 h 的释放时间范围内, 叉角厉蝽不同虫态的扩散能力存在差异, 且随虫龄增长呈逐渐增强趋势。整个释放期间, 烟田中成虫的扩散系数显著高于若虫, 而大棚环境中成虫的扩散系数仅在释放时间 12~24 h 时显著高于若虫。释放过程中, 大棚内的若虫主要聚集在烟草植株上, 成虫则大多呈现向四周扩散的趋势。释放 72 h 后, 大棚内不同虫态的定殖率存在显著差异, 成虫的定殖率显著高于若虫, 且随虫龄递减呈阶梯式下降趋势 (成虫>5 龄>4 龄>3 龄)。随着释放时间的延长, 叉角厉蝽的扩散开始趋于稳定。研究结果为科学评估叉角厉蝽的生物防治潜力提供关键依据, 对提升天敌控害效能以及推进害虫科学防控具有重要意义。

关键词: 叉角厉蝽; 天敌昆虫; 生物防治; 扩散行为; 扩散系数

中图分类号: S476.2 文献标志码: A

Dispersal Ability of Different Developmental Stages of *Eocanthecona furcellata* (Wolff)

YANG Changhe¹, TIAN Yongming¹, DUAN Siyan¹, CHEN Xiao¹, CHEN Gang², WU Guoxing¹, GAO Xi^{1*}

1. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China; 2. Chuxiong Branch, Yunnan Tobacco Co., Chuxiong, Yunnan 675000, China

Abstract: The 3rd to 5th instar nymphs and adults were released in tobacco fields and greenhouses to investigate the differences in dispersal capacity and dynamic patterns across developmental stages of *Eocanthecona furcellata* (Wolff). Under greenhouse conditions, dispersal characteristics including release timing, spatial distribution, diffusion coefficients and colonization rates were analyzed. Additionally, dispersal velocities across different developmental stages were measured under field conditions. Results demonstrated variations in dispersal capacity among developmental stages within 12–48 hours post-release, showing a gradual enhancement trend with advancing insect age. Throughout the release period, adults exhibited significantly higher dispersal coefficients than nymphs in tobacco fields, while in greenhouses, adult dispersal coefficients only surpassed nymphs significantly during 12–24 hours post-release. During dispersal, nymphs in the greenhouse primarily clustered on tobacco plants, while the majority of adults exhibited a radial dispersal tendency. At 72 hours post-release, significant differences in colonization rates emerged among developmental stages in greenhouses, with adults achieving markedly higher rates than nymphs, demonstrating a stepwise decline as instar levels decreased (adult>5th>4th>3rd). Dispersal patterns stabilized with prolonged release duration. This study would provide critical evidence for scientifically evaluating the biocontrol potential of *E. furcellata*, offering substantial significance for enhancing natural enemy efficacy and advancing scientific pest management strategies.

Keywords: *Eocanthecona furcellata*; natural enemy insects; biological control; dispersal behavior; diffusion coefficient

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2025.10.022

收稿日期 2025-03-18; 接受日期 2025-06-17

基金项目 云南省农业基础研究联合专项 (No. 202301BD070001-137); 云南省中青年学术和技术带头人后备人才项目 (No. 202205AC160077); 云南省烟草公司科技计划项目 (No. 2023530000241012)。

作者简介 杨昌和 (2001—), 男, 硕士研究生, 研究方向: 农业昆虫与害虫防治。*通信作者 (Corresponding author): 高熹 (GAO Xi), E-mail: chonchon@163.com。

叉角厉蝽 (*Eocanthecona furcellata*) 是农林业重要的捕食性天敌昆虫, 隶属半翅目 (Hemiptera) 蝽科 (Pentatomidae) 益蝽亚科 (Asopinae), 主要分布于菲律宾、马来西亚、印度、泰国以及中国的四川、云南、贵州、广东、广西、海南和台湾等热带和亚热带区域^[1]。部分鞘翅目、半翅目以及大多数鳞翅目的农业害虫都是叉角厉蝽的捕食对象^[2-3]。叉角厉蝽的捕食和繁殖力强、产卵量大、对环境安全, 若虫随虫龄的增长捕食能力也逐渐增强, 在生物防治上具有广阔的应用前景^[4]。

应用天敌昆虫防治害虫是生物防治的重要防控手段, 为充分发挥生态系统中天敌因素的自然控害效能, 国内外已有诸多利用生物防治技术对农林害虫进行防控的实例, 如利用烟盲蝽 (*Nesidiocoris tenuis*) 和东亚小花蝽 (*Orius sauteri*) 防控烟粉虱^[5-6], 利用赤眼蜂 (*Trichogramma*) 防治甜菜夜蛾^[7], 利用蠊蝽 (*Arma chinensis*) 防控草地贪夜蛾和马尾松毛虫^[8-9], 海岛小花蝽 (*Orius maxidentex*) 对蓟马表现出较强的控害潜能^[10], 异色瓢虫 (*Harmonia axyridis*) 应用于捕食蚜虫^[11-12]。这些研究报道说明, 选择合适的天敌昆虫能更好地发挥自然控害作用。

扩散作为昆虫关键的生态行为, 对昆虫的适应性、种群动态、分布范围及入侵潜力具有深远影响^[13]。研究表明, 昆虫扩散受多种因素调控, 包括季节变化^[14]、光照^[15]、气温和风力^[16-17]等环境因子, 以及寄主植物^[18]、飞行能力^[19-20]、虫龄^[21]等生物因子。因此, 要准确评估昆虫的扩散潜力, 有必要通过试验研究分析不同因素对其扩散行为的影响。目前已有不少对昆虫扩散的相关研究报道, 如茶翅蝽 (*Halyomorpha halys*)^[22-23]、柑橘木虱 (*Diaphorina citri*)^[24]、异色瓢虫 (*Harmonia axyridis*)、多异瓢虫 (*Hippodamia variegata*)^[25]、蠊蝽 (*Arma chinensis*)^[26]、红彩真猎蝽 (*Harpactor fuscipes*)^[27]、七星瓢虫 (*Coccinella septempunctata*)^[28] 多种常见天敌昆虫及农林害虫。昆虫扩散行为的相关试验研究虽有不少报道, 但针对天敌昆虫在农田生态系统中的扩散机制及其规律探索仍显不足。

天敌昆虫的应用效能主要取决于释放策略与田间定殖效率^[29]。叉角厉蝽作为大多农林害虫的重要捕食性天敌, 其空间扩散能力直接影响生物防治效果。然而, 针对叉角厉蝽在开放农田及设

施大棚等生境中的扩散行为研究尚无报道。鉴于此, 本研究以叉角厉蝽 3~5 龄若虫和成虫作为研究对象, 于大棚和烟田内释放叉角厉蝽, 对释放时间、空间分布、扩散系数等数据进行比较分析, 探究其扩散能力与定殖潜能, 研究结果可为制定科学的释放方案以及发挥叉角厉蝽在生物防治中的控害效能提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

叉角厉蝽购于推动者生物科技有限公司, 在实验室以黄粉虫 (*Tenebrio molitor*) 蛹饲喂, 在湿度为 65%±5%、温度为(26±2)℃、光周期为 16 L:8 D 条件下, 形成稳定种群。

烟草品种为云南烟草公司提供的 K326 烟苗。将长出 5 片真叶的烟苗移栽于网罩大棚, 采用统一的常规技术进行栽培与水肥管理, 待株高约 1.5 m 时, 以供试验。种植时间为 2023 年 3 月。种植密度为每列 12 株, 共 3 列, 共 36 株, 每株占地面积约 0.5 m²。

试验于楚雄州南华县龙川镇张合屯村的烟田及大棚内进行。

1.2 方法

1.2.1 叉角厉蝽在大棚内的扩散 叉角厉蝽田间网罩释放试验于烟田中搭建的大棚内展开, 以白色防虫网搭建试验大棚, 规格为长 6 m、宽 3 m、高 2.2 m。选取叉角厉蝽 3~5 龄若虫与新羽化 1~2 日龄的成虫各 50 头置于带盖的塑料盒 (15 cm×21 cm×11 cm) 中, 于当日 19:00 在大棚的水平几何中心将装有叉角厉蝽的塑料盒置于地面, 缓慢打开盒盖, 让其自由扩散。并在释放后第 2 天 7:00 开始调查, 共调查 4 次, 调查间隔为 12 h。调查测量每一头叉角厉蝽所处的空间位置, 大棚的东北角作为坐标原点, 水平坐标的 x 、 y 值分别为烟草距东面、北面棚壁的距离, 纵坐标的 z 值为叉角厉蝽距离地面的垂直距离。每个处理重复 3 次。并于 3 d 后调查虫数, 计算其定殖率。定殖率=(调查时虫数/释放时虫数)×100%。

1.2.2 叉角厉蝽在田间的扩散 选择晴朗的天气, 于 19:00 将叉角厉蝽在烟田中心进行释放, 使其自然扩散, 叉角厉蝽选择的供试虫数、虫龄、工具、释放及调查方法同 1.2.1。释放后第 2 天 7:00 开始调查测量每一头叉角厉蝽的扩散距离, 每个处理重复 3 次。调查持续到田间无法

寻找到叉角厉蝽为止。

1.3 数据处理

利用 Excel 2010 软件对试验数据进行分析整理, 利用 DPS 20.0 软件对不同虫龄叉角厉蝽的扩散分布数量、扩散系数进行差异显著性和单因素方差分析, 利用 Origin 2018 和 Graphpad Prism 8.0.2 软件绘图。

扩散系数反映叉角厉蝽在大棚及田间的扩散速度, 参考 HEINZ^[30]的方法计算扩散系数 (D), 计算公式:

$$D = \frac{\sum [(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2]}{4nt}$$

式中, x 、 y 为每一头叉角厉蝽的位置坐标, 单位为 cm; x_0 、 y_0 为叉角厉蝽释放点坐标, 单位为 cm; t 为调查与释放的时间间隔, 单位为 h; n 为调查所得叉角厉蝽虫口数。

2 结果与分析

2.1 叉角厉蝽在棚内释放后的空间分布

2.1.1 3 龄若虫释放后 12~48 h 的空间分布 叉角厉蝽 3 龄若虫释放后 12~48 h 在大棚内各主要区域的空间分布情况见图 1 和表 1。释放 12 h 后, 在释放点和周围烟草上的分布较多, 虫口数分别为 16.67 头和 19.33 头, 未充分扩散; 释放 24 h

后, 在释放点的平均虫口数下降到 9.67 头, 与释放 12 h 后相比, 释放 24 h 的扩散较为充分, 主要向烟草和防虫网上移动, 分布在防虫网上和烟草上的虫口数分别为 6.00 头和 18.67 头; 在释放 36 h 后释放点和周围烟草上的分布相较 24 h 变化不大, 虫口数分别为 9.00 头和 19.67 头, 防虫网上的虫口数为 3.33 头, 相较 24 h 时有所下降; 释放 48 h 后, 3 龄若虫扩散较为充分, 扩散逐渐趋于稳定, 在防虫网和烟草上的虫口数分别为 7.67 头和 11.00 头, 相较释放 12 h 后, 释放点虫数显著减少, 为 3.33 头, 而防虫网上的虫数显著增多, 为 7.67 头。

2.1.2 4 龄若虫释放后 12~48 h 的空间分布 叉角厉蝽 4 龄若虫释放后 12~48 h 在大棚内各主要区域的空间分布情况见图 2 和表 1。释放 12 h 后, 释放点的分布较多, 虫口数为 19.33 头, 防虫网上的分布较少, 仅为 2.67 头, 在烟草上的虫口数为 14.67 头; 释放 24 h 后的扩散相较 12 h 时更加充分, 从释放点移动到烟草和防虫网上的虫数增多, 烟草上的虫口数为 17.67 头, 防虫网上的虫口数为 4.00 头; 释放 36 h 后, 在释放点的分布数量相较 12 h 时的虫口数, 已减少至 8.67 头, 相较 24 h, 在烟草上的分布虫口数减少至 11.67 头, 防虫网上开始增多, 为 5.33 头; 释放 48 h 后, 在释

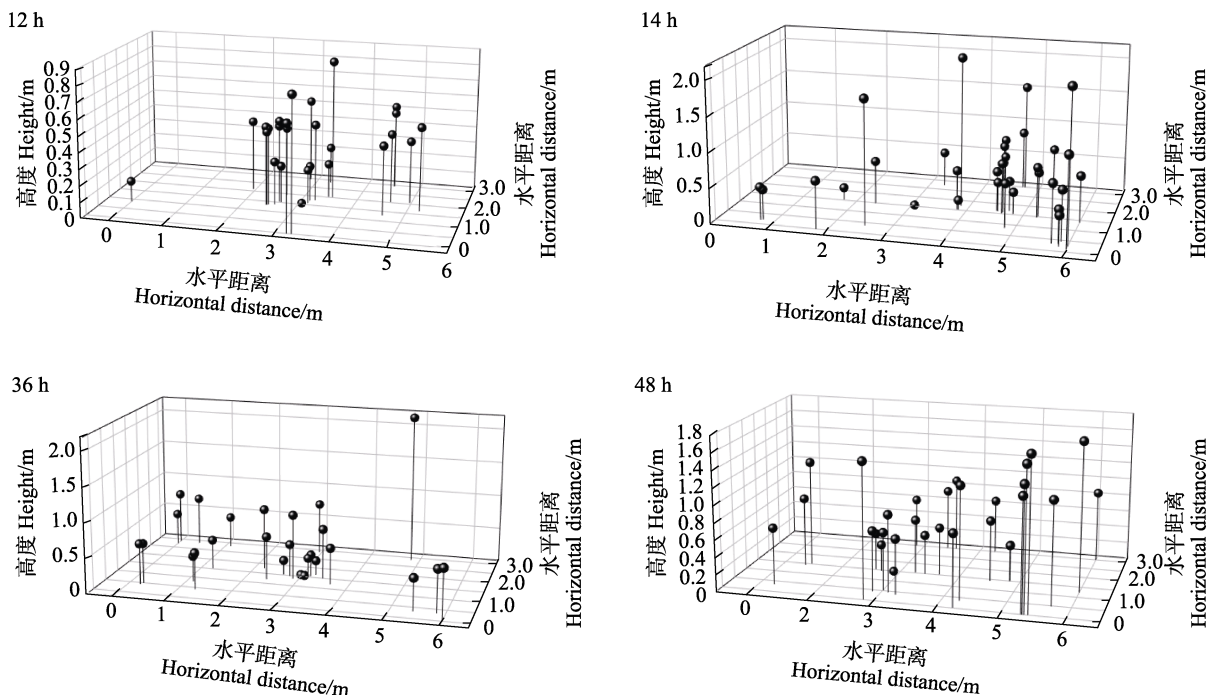


图 1 叉角厉蝽 3 龄若虫在棚内释放后 12~48 h 的空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of 3rd instar nymphs of *E. furcellata* after release in greenhouse from 12 to 48 hours

表 1 不同虫龄叉角厉蝽在大棚释放后 12~48 h 的分布情况

Tab. 1 Distribution of *E. furcellata* at different developmental stages after release in greenhouse from 12 to 48 hours

时间 Time/h	发育阶段 Developmental stage	叉角厉蝽虫口数 Number of <i>E. furcellata</i>			
		释放点 Release point	烟草植株 Tobacco plant	防虫网 Insect net	其他 Others
12	3 龄	16.67±2.19 ^a	19.33±1.76 ^{ab}	1.67±0.67 ^b	0.33±0.33 ^b
	4 龄	19.33±4.67 ^a	14.67±0.33 ^b	2.67±1.33 ^b	0.33±0.33 ^b
	5 龄	24.00±2.65 ^a	13.33±2.03 ^b	5.67±0.33 ^b	1.67±0.33 ^a
	成虫	2.00±1.53 ^b	24.67±4.18 ^a	17.00±5.69 ^a	0.00±0.00 ^b
24	3 龄	9.67±5.36 ^{ab}	18.67±4.10 ^a	6.00±0.58 ^b	0.00±0.00 ^a
	4 龄	10.67±3.84 ^{ab}	17.67±2.73 ^a	4.00±0.58 ^b	1.00±1.00 ^a
	5 龄	13.33±0.88 ^{a*}	19.33±2.03 ^a	8.00±1.73 ^b	0.00±0.00 ^a
	成虫	0.33±0.33 ^b	15.67±1.76 ^a	22.33±2.40 ^a	0.00±0.00 ^a
36	3 龄	9.00±2.52 ^a	19.67±2.85 ^{ab}	3.33±0.88 ^b	0.33±0.33 ^a
	4 龄	8.67±3.28 ^a	11.67±2.33 ^b	5.33±3.33 ^b	0.67±0.67 ^a
	5 龄	9.33±2.40 ^{a*}	20.00±2.65 ^a	6.00±1.15 ^b	1.67±0.33 ^a
	成虫	1.00±0.58 ^a	13.33±1.45 ^{ab}	20.00±1.00 ^a	0.33±0.33 ^a
48	3 龄	3.33±1.45 ^{ab*}	11.00±3.79 ^a	7.67±2.96 ^{b*}	0.00±0.00 ^a
	4 龄	6.33±1.45 ^{a*}	11.33±2.73 ^a	6.00±2.52 ^b	0.67±0.67 ^a
	5 龄	5.67±1.67 ^{a*}	18.00±2.00 ^a	6.00±2.65 ^b	4.00±3.00 ^a
	成虫	0.67±0.33 ^b	11.67±4.98 ^{a*}	19.33±4.63 ^a	0.00±0.00 ^a

注：同列不同小写字母表示同一时间不同虫龄在相同分布位置上差异显著 ($P<0.05$)；*表示同一虫龄不同释放时间相较释放 12 h 在相同分布位置上差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference in the same distribution location among different developmental stages at the same time ($P<0.05$); * indicates significant difference in the same distribution location between different release time of the same developmental stage compared to 12 h of release ($P<0.05$).

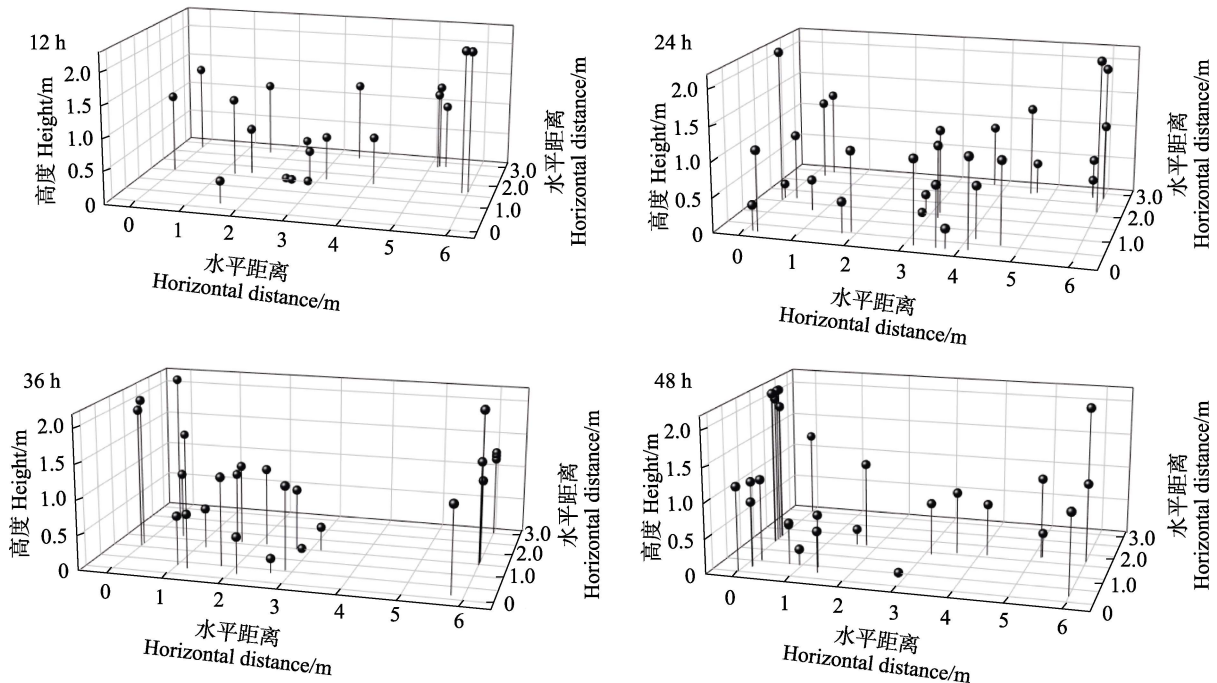


图 2 叉角厉蝽 4 龄若虫在棚内释放后 12~48 h 的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of 4th instar nymphs of *E. furcellata* after release in greenhouse from 12 to 48 hours

放点的平均虫口数为 6.33 头,在整个释放过程中, 4 龄若虫的分布数量相较 12 h 时, 释放点虫口数

显著减少, 防虫网上和烟草上的数量分布最终趋于稳定。

2.1.3 5 龄若虫释放后 12~48 h 的空间分布 5 龄若虫释放后 12~48 h 在大棚内各主要区域的空间分布情况见图 3 和表 1。释放 12 h 后, 叉角厉蝽基本分布在释放点和周围的烟草上, 虫口数分别为 24.00 头和 13.33 头, 但也有活动能力较强的 5 龄若虫移动到防虫网上, 防虫网上的虫口数为 5.67 头, 另外还有 1.67 头 5 龄若虫正在扩散; 释放 24 h 后, 叉角厉蝽 5 龄若虫进一步扩散, 向周围的烟草和防虫网上移动, 因此在释放点的虫口数开始减

少, 为 13.33 头; 在扩散过程中, 烟草上的虫口数较多, 为 19.33 头。释放 36 h 后, 扩散开始趋于稳定, 烟草上的虫口数为 20.00 头, 显著高于同时期的 4 龄若虫; 5 龄若虫在释放点的虫口数为 9.33 头, 显著低于 12 h 的虫口数。释放 48 h 后, 扩散趋于稳定, 整个释放过程中, 叉角厉蝽 5 龄若虫主要向烟草移动, 并有少数活动能力强的向防虫网移动, 仅有 5.67 头 5 龄若虫还分布在释放点, 此时释放点的虫口数已显著少于释放 12 h 时。

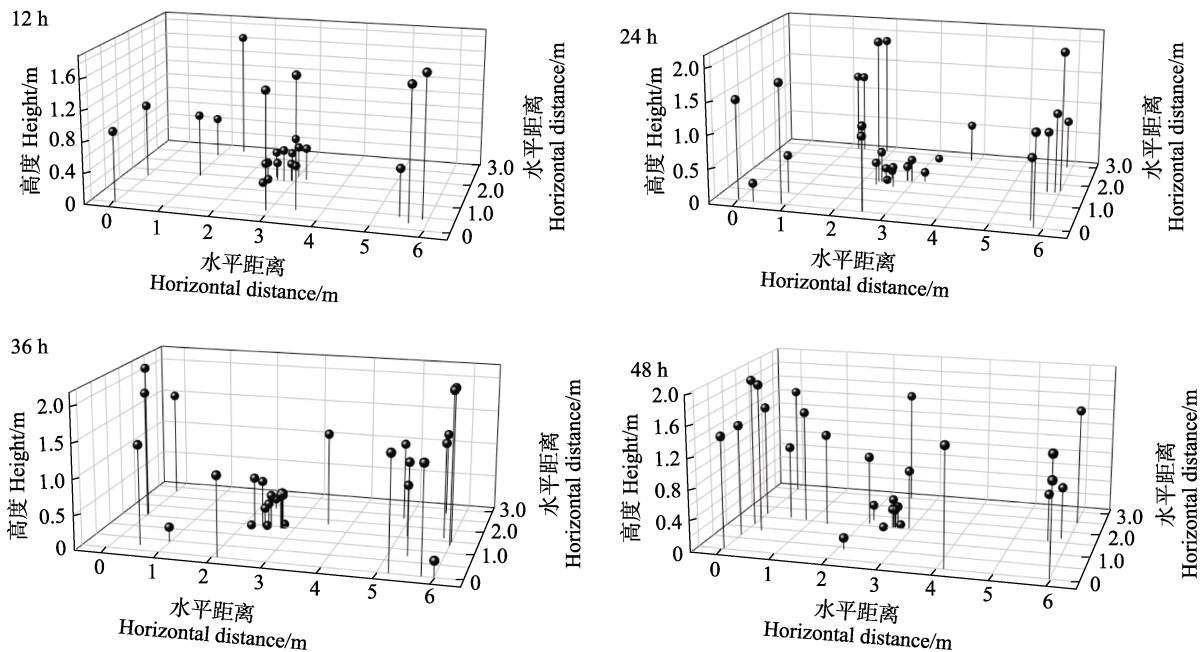


图 3 叉角厉蝽 5 龄若虫在棚内释放后 12~48 h 的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of 5th instar nymphs of *E. furcellata* after release in greenhouse from 12 to 48 hours

2.1.4 成虫释放后 12~48 h 的空间分布 成虫释放后 12~48 h 在大棚内各主要区域的空间分布情况见图 4 和表 1。在释放 12 h 后, 释放点的仅有 2.00 头, 基本分布在烟草和防虫网上, 虫口数分别为 24.67 头和 17.00 头; 成虫在防虫网上的虫口数显著高于其他龄期, 而释放点的虫口数显著小于其他龄期。释放 24 h 后, 相较同时期的 5 龄若虫, 释放点的虫口数显著减少, 而防虫网上的虫口数显著高于其他虫龄。释放 24 h, 叉角厉蝽各虫龄在烟草上的虫口数无显著差异。释放 36 h 后, 主要向防虫网和烟草扩散, 释放点仅剩 1.00 头, 扩散比较充分; 成虫在防虫网上的虫口数最多, 为 20.00 头, 显著高于其他龄期。释放 48 h 后, 扩散趋于稳定, 成虫在释放点基本上无分布, 而在防虫网上的虫口数最多, 为 19.33 头, 显著高于其他虫龄。释放 48 h, 各虫龄叉角厉蝽在烟草

上的虫口数无显著差异。

2.2 不同虫龄叉角厉蝽在棚内释放后的定殖率

虫龄是影响叉角厉蝽定殖率的一个重要因素。由图 5 可知, 在释放 72 h 后, 不同虫龄叉角厉蝽在棚内的定殖率存在显著差异。其中 4~5 龄若虫和成虫的定殖率均显著高于 3 龄若虫, 成虫的定殖率最高且显著高于若虫, 4 龄和 5 龄若虫的定殖率无显著差异。不同虫态的定殖率呈递增趋势: 3 龄 (19.00%) < 4 龄 (27.33%) < 5 龄 (29.67%) < 成虫 (34.00%)。

2.3 不同虫龄叉角厉蝽释放后的扩散速度

不同虫龄叉角厉蝽在棚内的扩散系数 (扩散速度) 如图 6A 所示。在释放 48 h 之内, 3~5 龄若虫在棚内的扩散系数差异不显著, 但成虫与 3~5 龄若虫的扩散系数存在显著差异, 其中成虫的扩散系数仅在释放 12~24 h 时显著高于若虫, 在 36 h

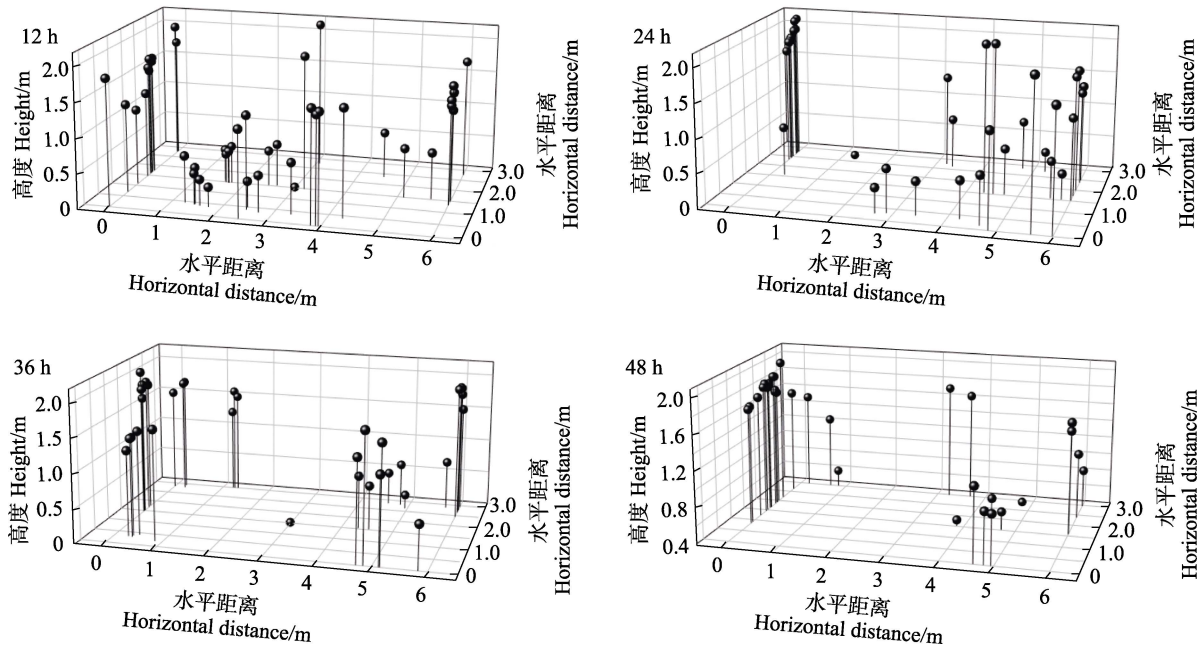
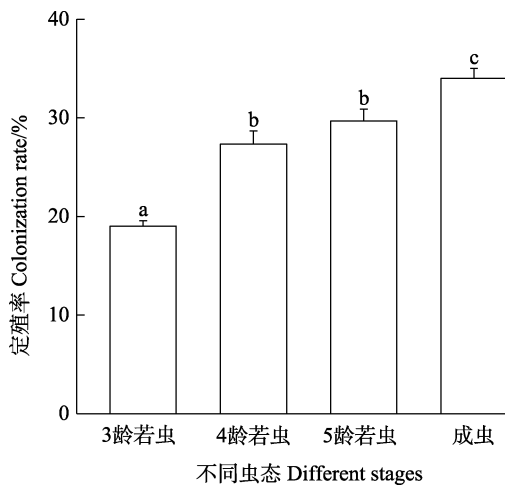


图 4 叉角厉蝽成虫在棚内释放后 12~48 h 的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of adult *E. furcellata* after release in greenhouse from 12 to 48 hours



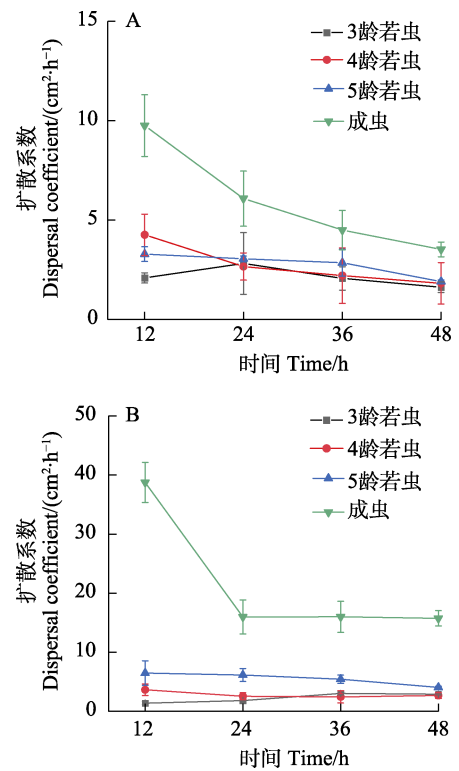
不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。
Different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

图 5 不同虫龄的叉角厉蝽在释放 72 h 后的定殖率

Fig. 5 Colonization rates of *E. furcellata* at different life stages after 72 hours of release

时 5 龄若虫的扩散系数与成虫无显著差异。

不同虫龄叉角厉蝽在田间的扩散系数(扩散速度)如图 6B 所示。在释放 48 h 之内,成虫的扩散系数显著高于若虫,向外扩散的速度高于若虫;在释放后 24 h 时,5 龄若虫的扩散系数相较 3 龄和 4 龄若虫有显著差异,而在其他的释放时间,若虫的扩散系数差异不显著。叉角厉蝽在田间释放的扩散系数整体高于棚内,尤其是成虫最明显。



A: 大棚; B: 田间。
A: Shed; B: Field.

图 6 不同虫龄叉角厉蝽释放 48 h 内的扩散系数

Fig. 6 Dispersal coefficients of *E. furcellata* at different life stages within 48 hours after release

3 讨论

我国拥有十分丰富的天敌昆虫资源,其中叉

角厉蝽是一类十分重要的天敌类群,在生物防治中表现出极好的控害能力^[31-33],而扩散能力强的天敌昆虫更容易在野外建立并维持种群^[34-35],这有助于实现对害虫的持久有效控制,因而了解天敌昆虫的扩散潜力对于评价其控害效能和制定科学的天敌利用方法至关重要^[36]。

本研究发现,叉角厉蝽的定殖率随虫龄的增长而逐渐提升,随着虫体的发育,叉角厉蝽的生活生存能力不断提高;大棚内的叉角厉蝽在扩散过程中,主要向寄主植物烟草聚集,这种表现行为可能与其在自然生境中依赖隐蔽场所的生态需求密切相关^[37];随着时间的推移,叉角厉蝽的扩散距离呈增大趋势,表明时间是影响扩散的一个重要因素,另外花角蚜小蜂(*Coccobius azumai*)^[36]、七星瓢虫(*Coccinella septempunctata*)^[28]、麦蛾茧蜂(*Habrobracon hebetor*)^[38]等天敌昆虫的研究结果也证实时间是影响其扩散距离的一个重要因素。

虫龄是影响昆虫扩散能力的另一个重要因素。本研究结果表明,叉角厉蝽的扩散能力随虫龄的增长呈逐渐升高的趋势,成虫最明显,其中5龄若虫的扩散能力较3龄和4龄若虫稍具优势,本研究结果与前人试验结果^[28, 39-40]类似。大棚内成虫在防网上的虫口数明显多于若虫,且扩散速度在释放后12~24 h内显著强于若虫,田间的扩散速度在整个释放期间均显著强于若虫,其原因可能是成虫的虫体已发育完全,具翅,拥有飞行能力,因此扩散能力更强。为实现叉角厉蝽田间释放的害虫种群控制目标,建议优先选择发育成熟度较高的虫态(如5龄若虫或成虫)以及合适的虫口数进行释放,以期通过精准释放策略实现经济高效、数据可靠的防控效果,为田间的推广应用提供科学支撑。

已有相关研究表明,昆虫扩散能力存在显著的性别差异,如豆大蓟马雌虫的飞行能力显著优于雄虫^[41],而某些甲虫则呈现雄虫的飞行性能更优的现象,还需通过性别视角探究其扩散偏差的成因^[42]。因此,在后续研究中应加入性别因素,揭示叉角厉蝽雌雄个体的扩散潜能差异,为优化生物防治策略提供依据。综上,本研究尚未明确光照、风速、温度、寄主植物、性别等因素对叉角厉蝽的影响,后续研究可加入这些因素研究叉角厉蝽的扩散行为,另外由于天敌昆虫活动范围较大,难以配备定位装置进行精确追踪,加之田间环境易受气候等环境因素的影响,难以精确测

量数据和深入分析^[28],而本研究的试验大棚具有一定的田间环境特征,它处于露天的田间位置,土壤条件与周围田间相似,只是通过网罩对部分外界因素进行一定程度的阻隔。因此,本研究主要选择在环境因素较稳定且数据易获取的网罩大棚内进行,后续田间试验可以结合标记重捕、遥感监测与环境建模等综合方法提升研究精度。本研究虽然已在烟田和网罩大棚内同步开展叉角厉蝽的释放与扩散研究,但其田间扩散规律仍需深入探究。

参考文献

- [1] 苑金戈,周子杰,羊展,刘桥,刘怀,李亚迎.叉角厉蝽对冷冻饲料黄粉虫蛹的适应性研究[J].环境昆虫学报,2024,46(4):814-821.
YUAN J G, ZHOU Z J, YANG Z, LIU Q, LIU H, LI Y Y. Fitness analysis of *Eocanthecona furcellata* fed on frozen-treated *Tenebrio molitor* pupae[J]. Journal of Environmental Entomology, 2024, 46(4): 814-821. (in Chinese)
- [2] 陈雪梅,谷星慧,洗继东,张立猛,范悦莉,黄智华,周文兵,赵进龙,张翠萍.叉角厉蝽对烟草上斜纹夜蛾搜索效率影响因子的研究[J].环境昆虫学报,2021,43(1):224-232.
CHEN X M, GU X H, XIAN J D, ZHANG L M, FAN Y L, HUANG Z H, ZHOU W B, ZHAO J L, ZHANG C P. A study on influence factors of search efficiency of *Eocanthecona furcellata* (Hemiptera) on *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) in tobacco[J]. Journal of Environmental Entomology, 2021, 43(1): 224-232. (in Chinese)
- [3] YAO Q, QUAN L F, WANG S W, XING D X, CHEN B X, LU K. Predatory stink bug, *Eocanthecona furcellata* (Wolff) responses to oral exposure route of λ -cyhalothrin via sex-specific modulation manner[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2023, 192: 105381.
- [4] 折思怡.叉角厉蝽捕食特性、耐饥能力及防效研究[D].福州:福建农林大学,2023.
SHE S Y. Studies on predatory characteristics, starvation tolerance and control efficiency of *Eocanthecona furcellata* (Wolff)[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2023. (in Chinese)
- [5] PARK Y, LEE J H. UV-LED lights enhance the establishment and biological control efficacy of *Nesidiocoris tenuis* (Reuter)(Hemiptera: Miridae)[J]. PLoS One, 2021, 16(1): e0245165.
- [6] 刘心怡,杨浩岚,张今,李成军,余祥文,冯文龙,余佳敏,邓全,李茂业,刘苏.东亚小花蝽对烟粉虱若虫的捕食功能评价[J].烟草科技,2024,57(9):59-64.

- LIU X Y, YANG H L, ZHANG J, LI C J, YU X W, FENG W L, YU J M, DENG Q, LI M Y, LIU S. Predation function of *Orius sauteri* on nymphs of *Bemisia tabaci*[J]. Tobacco Science & Technology, 2024, 57(9): 59-64. (in Chinese)
- [7] 王金彦, 张浩, 季香云. 3种赤眼蜂对甜菜夜蛾和小菜蛾卵的寄生功能反应[J]. 环境昆虫学报, 2023, 45(4): 1046-1053.
- WANG J Y, ZHANG H, JI X Y. Functional response of three *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) to parasitizing *Spodoptera exigua* and *Plutella xylostella* eggs[J]. Journal of Environmental Entomology, 2023, 45(4): 1046-1053. (in Chinese)
- [8] 汪洁, 母银林, 杨灿, 杨琳, 王玉川, 陈俊竹, 常志敏, 龙见坤, 胡朝兴, 张长华, 陈祥盛, 喻会平. 温度对蠋蝽成虫捕食草地贪夜蛾功能反应的影响[J]. 应用昆虫学报, 2023, 60(4): 1195-1206.
- WANG J, MU Y L, YANG C, YANG L, WANG Y C, CHEN J Z, CHANG Z M, LONG J K, HU C X, ZHANG C H, CHEN X S, YU H P. Effects of temperature on the predatory functional response of *Arma custos* adults to *Spodoptera frugiperda*[J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2023, 60(4): 1195-1206. (in Chinese)
- [9] 邓婉, 黄科, 胡倩, 李罗秀, 刘清, 袁洁, 李密. 蠋蝽两种不同释放方法对马尾松毛虫的林间防控效果评价[J]. 中国生物防治学报, 2025, 41(1): 186-192.
- DENG W, HUANG K, HU Q, LI L X, LIU Q, YUAN J, LI M. A preliminary field study of two releasing ways of *Arma chinensis* for control of *Dendrolimus punctatus* in pine forest[J]. Chinese Journal of Biological Control, 2025, 41(1): 186-192. (in Chinese)
- [10] 李金磊, 韩姗妮, 周世豪, 符悦冠, 叶政培, 韩冬银. 温度对海岛小花蝽 5 龄若虫捕食茶黄蓟马功能反应的影响[J]. 热带作物学报, 2022, 43(8): 1671-1677.
- LI J L, HAN S N, ZHOU S H, FU Y G, YE Z P, HAN D Y. Effects of temperature on the functional response of the fifth instar *Orius maxidentex* Ghauri nymphs to *Scirtothrips dorsalis* Hood[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2022, 43(8): 1671-1677. (in Chinese)
- [11] 车少臣, 王宇欣, 仲丽, 李广, 袁菲, 仇兰芬. 异色瓢虫对两种毛蚜科蚜虫的捕食作用及田间防效[J]. 中国森林病虫, 2024, 43(6): 18-22.
- CHE S C, WANG Y X, ZHONG L, LI G, YUAN F, QIU L F. Predation efficacy of *Harmonia axyridis* on two species of Chaitophoridae and control effect in field[J]. Forest Pest and Disease, 2024, 43(6): 18-22. (in Chinese)
- [12] LI C, YU J Y, MAO R P, KANG K L, XU L T, WU M T. Functional and numerical responses of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) to *Rhopalosiphum nymphaeae* (Hemiptera: Aphididae) and their potential for biological control[J]. Insects, 2024, 15(9): 633.
- [13] RENAULT D. A review of the phenotypic traits associated with insect dispersal polymorphism, and experimental designs for sorting out resident and disperser phenotypes[J]. Insects, 2020, 11(4): 214.
- [14] DOEHLER M, CHAUVIN D, LE RALEC A, VANESPEN É, OUTREMAN Y. Effect of the landscape on insect pests and associated natural enemies in greenhouses crops: the strawberry study case[J]. Insects, 2023, 14(3): 302.
- [15] SHI L Q, VASSEUR L, HUANG H S, ZENG Z H, HU G P, LIU X, YOU M S. Adult tea green leafhoppers, *Empoasca onukii* (Matsuda), change behaviors under varying light conditions[J]. PLoS One, 2017, 12(1): e0168439.
- [16] 王志娟. 亚洲舞毒蛾的扩散能力研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2017.
- WANG Z J. Dispersal ability of Asian gypsy moth (*Lymantria dispar asiatica*)[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2017. (in Chinese)
- [17] 高冬梅, 皇甫佳一, 郭萧. 利用 HYSPLIT 模型分析茶园假眼小绿叶蝉迁飞扩散行为[J]. 福建农业学报, 2024, 39(5): 593-599.
- GAO D M, HUANGFU J Y, GUO X. Migration and dispersion of *Empoasca vitis* in tea plantations analyzed by HYSPLIT[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2024, 39(5): 593-599. (in Chinese)
- [18] 马志龙, 姚艳霞, 阿地力·沙塔尔. 苹小吉丁林间扩散行为的初步研究[J]. 林业科学研究, 2021, 34(1): 173-180.
- MA Z L, YAO Y X, ADIL S T R. A preliminary study on the field-diffusion behavior of *Agrilus mali* Matsumura (Coleoptera: Buprestidae)[J]. Forest Research, 2021, 34(1): 173-180. (in Chinese)
- [19] 郑艺翔. 成虫发育和环境因素对牧草盲蝽飞行能力的影响[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2024.
- ZHENG Y X. Effects of adult insect development and environmental factors on flight ability of *Lygus pratensis*[D]. Alaer: Tarim University, 2024. (in Chinese)
- [20] 郑小钰. 小菜蛾飞行能力异质性及其调控分子机制[D]. 广州: 华南农业大学, 2020.
- ZHENG X Y. Heterogeneity in flight ability of the diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) and its molecular mechanisms[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2020. (in Chinese)
- [21] LACHANCE S, CLOUTIER C. Factors affecting dispersal of *Perillus bioculatus* (Hemiptera: Pentatomidae), a predator of the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae)[J]. Environmental Entomology, 1997, 26(4): 946-954.
- [22] BOSCO L, NARDELLI M, TAVELLA L. First insights on

- early host plants and dispersal behavior of *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) from overwintering to crop colonization[J]. *Insects*, 2020, 11(12): 866.
- [23] LEE D H, NIELSEN A L, LESKEY T C. Dispersal capacity and behavior of nymphal stages of *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) evaluated under laboratory and field conditions[J]. *Journal of Insect Behavior*, 2014, 27: 639-651.
- [24] MIRANDA M P, ZANARDI O Z, TOMASETO A F, VOLPE H X, GARCIA R B, PRADO E. Processed kaolin affects the probing and settling behavior of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Lividae)[J]. *Pest Management Science*, 2018, 74(8): 1964-1972.
- [25] LIU J H, ZHAO Z, YAN Y, ALI A, AHMED Z, HE D H, YU M F, HANG J, PERVEN M, NAZIR T, TAYYIB M, ZHAO Z H. Effect of alfalfa habitat change on dispersal behavior of *Harmonia axyridis* Pallas and *Hippodamia variegata* Goeze (Coleoptera: Coccinellidae)[J]. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2021, 24(4): 997-1003.
- [26] PAN M Z, FU Z X, LI Y Y, CHEN H Y, ZHANG L S, LIU T X. Role of host plants in the suitability and dispersal of an omnivorous predator *Arma chinensis* Fallou (Hemiptera: Pentatomidae: Asopinae) in a biological control context[J]. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 2022, 129(4): 861-868.
- [27] 苏湘宁. 红彩真猎蝽捕食行为及其扩散能力研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.
SU X N. Feeding behavior and dispersal capacity of *Harpactor fuscipes* (Fabricius)[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016. (in Chinese)
- [28] 伍兴隆, 余佳敏, 王勇, 刘东阳, 江连强, 郭仕平, 李斌, 肖科军, 刘虹伶, 杨明禄, 蒲德强. 人工投放七星瓢虫在烟田的定殖扩散能力[J]. *中国烟草科学*, 2022, 43(6): 39-44.
WU X L, YU J M, WANG Y, LIU D Y, JIANG L Q, GUO S P, LI B, XIAO K J, LIU H L, YANG M L, PU D Q. Colonization and spreading ability of artificially released *Coccinella septempunctata* in tobacco fields[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2022, 43(6): 39-44. (in Chinese)
- [29] 唐良德, 臧连生. 六斑月瓢虫生物生态学及其生物防治研究进展[J]. *中国生物防治学报*, 2023, 39(3): 697-709.
TANG L D, ZANG L S. Research progress on biology, ecology and biological control of *Cheilomenes sexmaculata* (Coleoptera: Coccinellidae)[J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2023, 39(3): 697-709. (in Chinese)
- [30] HEINZ K M. Dispersion of *Aphids* (Homoptera: Aphididae) and selected natural enemies in spatially subdivided greenhouse environments[J]. *Environmental Entomology*, 1998, 27(4): 1029-1038.
- [31] 赵航, 廖贤斌, 高平, 邢孔政, 梁晨, 吴国星, 陈斌, 高熹. 叉角厉蝽对亚洲玉米螟幼虫的捕食功能反应[J]. *环境昆虫学报*, 2022, 44(2): 422-429.
ZHAO H, LIAO X B, GAO P, XING K Z, LIANG C, WU G X, CHEN B, GAO X. Functional response of *Eocanthecona furcellata* to the larvae of *Ostrinia furnacalis*[J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2022, 44(2): 422-429. (in Chinese)
- [32] 龚雪娜, 罗梓文, 玉香甩, 曲浩, 王雪松, 龙雨雪, 张东, 梁晓静, 陈林波, 龙亚芹. 叉角厉蝽对于不同虫龄茶谷蛾幼虫的捕食功能反应[J]. *中国生物防治学报*, 2023, 39(5): 1066-1075.
GONG X N, LUO Z W, YU X S, QU H, WANG X S, LONG L X, ZHANG D, LIANG X J, CHEN L B, LONG Y Q. Functional response of *Eocanthecona furcellata* (Hemiptera: Pentatomidae) to different instars of *Agriophara rhombata* Meyr[J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2023, 39(5): 1066-1075. (in Chinese)
- [33] 骆清兰, 张春晖, 李平东, 彭李亚, 覃晓, 陈科伟. 半田间环境条件下叉角厉蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食能力[J]. *环境昆虫学报*, 2024, 46(3): 727-736.
LUO Q L, ZHANG C H, LI P D, PENG L Y, QIN X, CHEN K W. Predatory capability of *Eocanthecona furcellata* (Hemiptera: Pentatomidae) on the larvae of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) under semi-field environmental conditions[J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2024, 46(3): 727-736. (in Chinese)
- [34] BOSCH M J, IVES A R. Identifying environmental factors affecting the production of pea aphid dispersal morphs in field populations[J]. *Ecological Entomology*, 2023, 48(5): 597-609.
- [35] PRATISSOLI D, DAMASCENA A P, OLIVEIRA R C D, CARVALHO J R D, OLIVEIRA A C L F D, PIFFER A B M, PIROVANI V D. Dispersal capacity of *Trichogramma* for the management of *Duponchelia fovealis*[J]. *Agronomy*, 2024, 14(8): 1813.
- [36] 陈顺立, 张飞萍, 洪炳煌. 引进天敌花角蚜小蜂林间扩散的研究[J]. *中国生态农业学报*, 2011, 19(4): 918-924.
CHEN S L, ZHANG F P, HONG B H. Population dispersal of parasitoid *Coccobius azumai* (Hymenoptera: Aphelinidae) introduced from Japan in Fujian pine forest of China[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2011, 19(4): 918-924. (in Chinese)
- [37] 方亮, 苑金戈, 付国润, 陈岗, 吴子云, 柴云霞, 李学林, 任伟, 李亚迎, 刘怀. 叉角厉蝽对烟青虫的控害能力及烟田定殖潜力研究[J]. *植物医学*, 2022, 1(6): 89-96.
FANG L, YUAN J G, FU G R, CHEN G, WU Z Y, CHAI Y

- X, LI X L, REN W, LI Y Y, LIU H. Control capacity of *Eo-canthecona furcellata* to *Helicoverpa assulta* and its colonization preference[J]. *Plant Health and Medicine*, 2022, 1(6): 89-96. (in Chinese)
- [38] 刘文靖. 麦蛾茧蜂扩繁关键技术及其对烟草螟控制作用研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2023.
- LIU W J. Research on key techniques for propagation of *Habrobracon hebetor* (Say) and its control effect on *Ephes-tia elutella* (Hübner)[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2023. (in Chinese)
- [39] TABUCHI K, MORIYA S, ISHIZAKI M. Locomotion ability variation among instars of the bean bug, *Riptortus pedestris* (Fabricius) (Heteroptera: Alydidae) nymphs[J]. *Environmental Entomology*, 2007, 36(4): 871-877.
- [40] ANTOLÍNEZ C A, CHANDLER M, HOYLE V, FUCHS M, RIVERA M J. Differential flight capacity of *Spissistilus festinus* (Hemiptera: Membracidae) by sex and age[J]. *Journal of Insect Behavior*, 2023, 36(4): 347-357.
- [41] 张旭. 海南省豆大蓟马种群发生与扩散规律研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2024.
- ZHANG X. Study on the population occurrence and dispersal patterns of *Megalurothrips usitatus* in Hainan, China[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2024. (in Chinese)
- [42] MARTÍNEZ-PÉREZ S, GALANTE E, MICÓ E. Sex specificity of dispersal behaviour and flight morphology varies among tree hollow beetle species[J]. *Movement Ecology*, 2022, 10(1): 41.