



诱捕器类型和位置对胡蜂诱捕效果的影响^{*}

郑秋岚^{**} 陈 畅 陆亦澄 郑火青^{***}

(浙江大学动物科学学院, 杭州 310058)

摘 要 【目的】通过比较不同的诱捕器类型和位置及其组合对诱捕胡蜂效果的影响, 筛选出效果最佳的胡蜂诱捕方案。【方法】以 50%蔗糖溶液为引诱剂, 设置 5 种类型的诱捕器, 包括 500 mL 锥形瓶(1 号)、300 mL 农夫山泉果汁瓶(2 号)、500 mL 可口可乐瓶(3 号)、1.25 L 可口可乐瓶(4 号)和 4.50 L 娃哈哈纯净水瓶(5 号); 设置 5 个诱捕点位置, 分别为诱捕器离垫高蜂箱 0.3 (H-D0.3) 和 1 m (H-D1), 诱捕器离地面蜂箱 0.3 (L-D0.3) 和 1 m (L-D1), 以及诱捕器挂于距离蜂箱 2 m 的树枝上 (T-D2), 开展胡蜂诱捕试验。【结果】比较前 9 d 5 个位置各种诱捕器和第 14 天在 H-D1 处 5 种诱捕器诱捕的胡蜂数量, 1 号诱捕器诱捕的胡蜂数量显著高于 2 号、3 号和 4 号诱捕器 ($P < 0.05$), 与 5 号诱捕器差异不显著 ($P > 0.05$)。比较前 9 d 不同诱捕器和第 14 天 1 号诱捕器在不同位置的胡蜂数量, H-D1 处效果最佳, 显著高于另外 3 组 ($P < 0.05$), 而 H-D0.3、L-D0.3 和 L-D1 这 3 个位置间的胡蜂数量差异不显著 ($P > 0.05$)。兼顾考虑组合方案对胡蜂和非靶标昆虫的诱捕效果, 在离垫高蜂箱 1 m 处放置锥形瓶能够达到最佳的胡蜂诱捕效果。【结论】在离垫高蜂箱 1 m 处放置锥形瓶这一组合方案是综合效果最佳的胡蜂防控方案, 建议应用于养蜂生产中, 以达到更高效、绿色的胡蜂防控效果。

关键词 胡蜂; 蜜蜂; 诱捕器; 诱捕位置

Effect of wasp trap type and position relative to beehives on trap performance

ZHENG Qiu-Lan^{**} CHEN Chang LU Yi-Cheng ZHENG Huo-Qing^{***}

(College of Animal Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract [Aim] To identify the best trap type, and position relative to beehives, for trapping wasps. [Methods] Five types of traps were evaluated; 500 mL conical bottles (Trap 1), 300 mL Nongfu Spring juice bottles (Trap 2), 500 mL Coca-Cola bottles (Trap 3), 1.25 L Coca-Cola bottles (Trap 4) and 4.5 L Wahaha Pure Water bottles (Trap 5). Each trap type was evaluated in five different situations relative to beehives; 0.3 m from an elevated beehive (H-D0.3), 1 m from an elevated beehive (H-D1), 0.3 m from a ground level beehive (L-D0.3), 1 m from a ground level beehive (L-D1), and hanging on a branch 2 m from a beehive (T-D2). Traps were baited with 50% sucrose solution and trapping was conducted over 14 days with three replicates per treatment. [Results] Significantly more wasps were caught by trap 1 than by traps 2, 3, and 4 ($P < 0.05$) in all five locations over the first 9 days, and at H-D1 on day 14. Trap 1 also caught slightly more wasps than trap 5, however this difference was not significant ($P > 0.05$). Comparing the number of wasps caught at different positions over the first 9 days, and by trap 1 on day 14, the best position was H-D1, where significantly more wasps were captured than at the other three positions ($P < 0.05$). There was no significant difference in the number of wasps caught between H-D0.3, L-D0.3 and L-D1 ($P > 0.05$). Considering both trap type and situation, placing conical bottle traps 1 m

*资助项目 Supported projects: 国家蜂产业技术体系专项 (CARS-44); 浙江省农业重大技术协同推广计划 (2023ZDXT17)

**第一作者 First author, E-mail: qiulan_zheng@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: hqzheng@zju.edu.cn

收稿日期 Received: 2024-04-02; 接受日期 Accepted: 2024-06-16

away from elevated beehives achieved the best results ($P < 0.05$). **[Conclusion]** Placing conical bottle traps 1 m away from elevated beehives was the best overall wasp trapping regime and is recommended as an efficient, environmentally-friendly, integrated, method of wasp control.

Key words Vespidae; honeybee; trap; trap position

胡蜂, 俗称马蜂、黄蜂、地蜂和虎头蜂等, 是膜翅目 Hymenoptera, 细腰亚目 Apocrita, 胡蜂总科 Vespoidea, 胡蜂科 Vespidae 所有昆虫的总称, 取食花蜜等甜性物质、生肉和一些腐质食物, 为杂食性和机会性捕食昆虫(李铁生, 1985)。在我国, 较为常见的是胡蜂亚科 Vespinae 和马蜂亚科 Polistinae 两个亚科, 其中常见造成危害的主要是金环胡蜂 *Vespa mandarinia*、黑盾胡蜂 *Vespa bicolor*、墨胸胡蜂 *Vespa velutina* var. *nigrithorax*、黄边胡蜂 *Vespa crabro*、黄腰胡蜂 *Vespa affinis* 和基胡蜂 *Vespa basalis* 等营社会性的胡蜂亚科胡蜂属 *Veaps* 的胡蜂(崔俊等, 2007; 李艳杰等, 2009)。社会性的胡蜂营群居生活、分工明确, 在受到外界刺激时, 会进行群体防御, 因而在对人或蜜蜂发动攻击时危害较大(Mattiacci *et al.*, 2024)。

每年夏秋季是胡蜂繁殖高峰期, 此时若外界蜜粉资源缺乏, 胡蜂会时常侵扰蜂群, 更有甚者大肆捕杀蜜蜂, 导致蜜蜂举群飞逃或覆灭, 对蜂群造成巨大危害(Poidatz *et al.*, 2018; Requier *et al.*, 2019)。然而在生态系统中, 胡蜂除了捕杀蜜蜂外, 也捕食一些森林和农作物害虫, 对农业害虫绿色防控和综合治理具有重要生态意义, 并有利于维护生物多样性(戈峰等, 2014; 王兴旺等, 2015)。因此, 胡蜂防治方法应更多选择绿色高效的措施, 以达到既能防治胡蜂危害, 又不会对胡蜂种群造成致命打击的目的。人工扑打、捕虫网捕杀、药物毒杀、放蜂标寻踪等是防控胡蜂危害的主要方法(费中华等, 2014), 然而这些方法存在费时费力、污染环境或安全隐患等缺点。因此, 诱捕器引诱法已逐渐成为更绿色经济、环境友好和便捷高效的胡蜂防控方法(费中华等, 2014; Rojas-Nossa *et al.*, 2023)。

诱捕器诱捕法成功的关键在于诱饵和诱捕器的选择, 此外, 诱捕点位置的设置也十分关键

(张丹等, 2024), 但关于胡蜂诱捕点设置的相关研究报道较少。研究发现, 在糖水、醋+蜜、啤酒+糖、猪肉和鱼肉 5 种常见的诱饵中, 糖水的效果最佳(彭成涛等, 2020)。糖水诱捕法因具有简单便捷等优点已成为养蜂生产上一种常用的做法(Masciocchi *et al.*, 2023), 但在实际生产应用中效果不一。为解析影响糖水诱捕胡蜂效果的因素, 本研究结合养蜂生产中的常见做法, 围绕诱捕器类型和诱捕点两个关键因素开展试验, 旨在为生产中胡蜂诱捕提供理论参考和技术指导。

1 材料与方法

1.1 诱捕容器与引诱剂

结合生产实际, 选用 5 种常用的容器作为胡蜂诱捕器开展对比试验, 分别是 500 mL 锥形瓶(编为 1 号)、300 mL 农夫山泉果汁瓶(编为 2 号)、500 mL 可口可乐瓶(编为 3 号)、1.25 L 可口可乐瓶(编为 4 号)和 4.50 L 娃哈哈纯净水瓶(编为 5 号), 对 5 种诱捕器的参数进行量化(表 1)。每个诱捕器内装有约为容器容积 1/3 体积的 50%蔗糖溶液($w:w=1:1$)作为引诱剂。

1.2 实验分组

2023 年 10 月, 胡蜂危害高峰时在浙江大学紫金港校区西方蜜蜂实验蜂场开展实验, 该地区夏秋季胡蜂为害严重。5 个容器平行放置于分别距离蜂箱门 0.3 和 1 m 的两个位置(分别命名为 D0.3 和 D1)。鉴于生产实践中有很多农户将诱捕器挂于蜂场的树枝上, 本研究在距离蜂箱约 2 m 的 3 棵树的树枝上(T)设置第 3 组试验点。由于锥形瓶不方便悬挂, 树上的实验点仅放置其余 4 种诱捕器。同时, 考虑到生产实践中蜂群摆放高度的差异, 本研究将蜂箱分成两组, 一组平

表 1 不同诱捕器的参数
Table 1 Parameters of different trap

诱捕器编号 Trap no.	引诱剂体积 (mL) Volume of attractant (mL)	瓶口直径 (cm) Diameter of bottle mouth (cm)	瓶高 (cm) Bottle height (cm)	瓶身倾斜度 (°) Inclination of bottle body (°)
 1 号 Trap 1	166.7	4.4	19.0	15
 2 号 Trap 2	100.0	3.4	18.0	0
 3 号 Trap 3	166.7	2.4	25.0	0
 4 号 Trap 4	416.7	2.4	30.5	0
 5 号 Trap 5	1500.0	4.2	33.0	0

放于地面 (L), 另一组垫高 28 cm (H)。本研究共设置 5 个诱捕点位置, 分别为诱捕器离垫高蜂箱 0.3 m (H-D0.3) 和 1 m (H-D1), 诱捕器离地面蜂箱 0.3 m (L-D0.3) 和 1 m (L-D1), 以及诱捕器挂于距离蜂箱 2 m 的树枝上 (T-D2)。每组 3 个蜂群重复。

1.3 观察记录

每日傍晚固定时间 (18:00) 清点每个诱捕器 (共 72 个) 中胡蜂的数量, 持续记录 9 d, 并在第 14 天统计诱捕器内所有昆虫的数量和种类。

1.4 数据分析

采用 SPSS 26.0 软件进行单因素方差分析 (One-way ANOVA) 及非参数 Kruskal-Wallis 检验, 以评估组间差异的显著性。若方差齐性 (Levene 检验, $P>0.05$), 则采用 Tukey 事后检验进行多重比较; 若方差不齐, 则采用 Dunn's 非参数事后检验。同时, 采用皮尔逊相关性分析 (Pearson correlation analysis) 评估变量间的线性相关性。 $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同诱捕器类型的胡蜂诱捕效果及皮尔逊相关性分析

比较前 9 d 在 5 个试验点中 5 种诱捕器的胡蜂数量, 在 H-D0.3 和 L-D1 诱捕点中, 1 号诱捕

器的胡蜂诱捕效果最好, 3 号诱捕器效果最差 (图 1: A, D); 在 H-D1、L-D0.3 和 T-D2 中, 2 号诱捕器效果最好, 3 号诱捕器效果最差 (图 1: B, C, E)。进一步比较第 14 天在 H-D1 试验点 5 种诱捕器诱捕的胡蜂数量, 结果表明 1 号诱捕器效果最佳 (图 1: F), 胡蜂数量显著高于 2、3 和 4 号诱捕器 ($P<0.05$), 但与 5 号诱捕器相比无显著差异 ($P>0.05$)。综合前 9 d 和第 14 天结果可初步判断 1 号诱捕器的胡蜂诱捕效果最佳, 其次是 2 号和 5 号诱捕器, 而 3 号和 4 号诱捕器效果最差。

进一步分析不同诱捕器 4 个主要参数 (包括引诱剂体积、瓶口直径、瓶高和瓶身倾斜度) 与第 14 天胡蜂数量相关性, 以量化诱捕器标准化指标, 发现不同诱捕器所盛的引诱剂体积和诱捕器瓶高均与诱捕的胡蜂数量没有显著相关性 ($P>0.05$), 表明由不同诱捕器本身尺寸差异带来的引诱剂体积和瓶高差异并不会对胡蜂诱捕效果造成影响。值得注意的是, 诱捕器瓶口直径和瓶身倾斜度均与胡蜂数量有显著正相关关系 ($P<0.05$), 二者的皮尔逊相关系数分别为 0.419 和 0.263 (表 2)。

2.2 不同位置的胡蜂诱捕效果

不论何种诱捕器, 在前 9 d 试验中, H-D1 试验点的胡蜂诱捕效果均最佳 (图 2: A-E)。由 2.1 得知 1 号诱捕器效果最佳, 故进一步比较第 14 天 1 号诱捕器在不同试验点的胡蜂数量

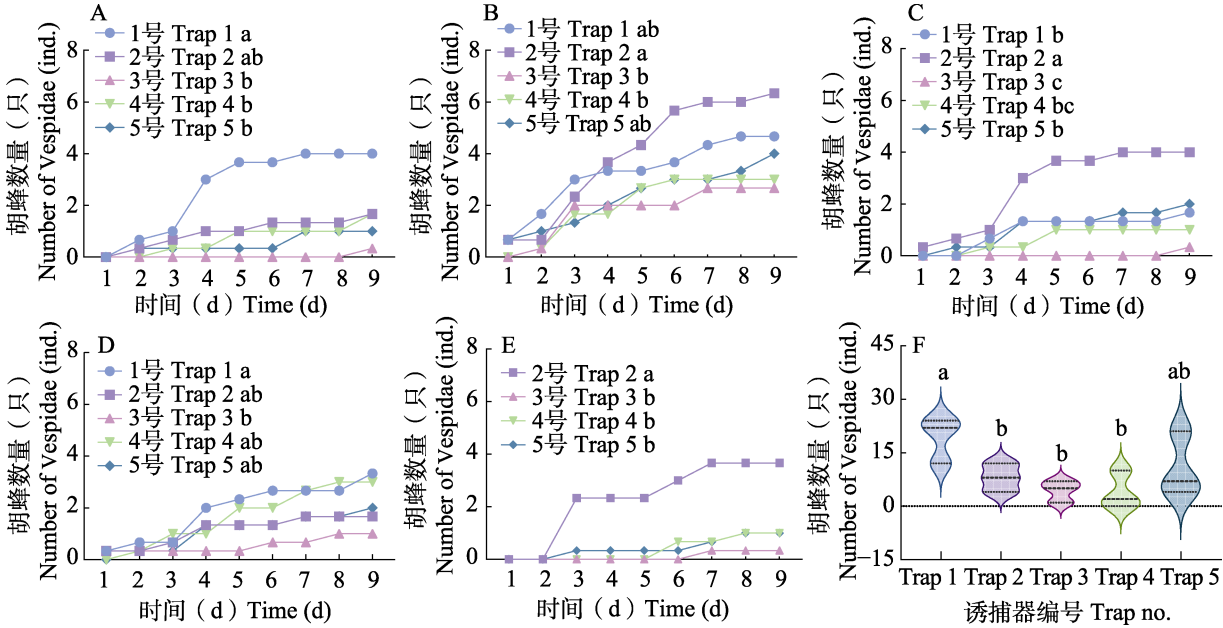


图 1 诱捕器类型对胡蜂诱捕效果的影响

Fig. 1 Effect of trap type on Vespidae trapping efficiency

A. 诱捕器距离垫高蜂箱 0.3 m; B. 诱捕器距离垫高蜂箱 1 m; C. 诱捕器距离地面蜂箱 0.3 m; D. 诱捕器距离地面蜂箱 1 m; E. 诱捕器挂于距离蜂箱 2 m 的树枝上; F. 第 14 天 5 种诱捕器在离垫高蜂箱 1 m 处的胡蜂数量。

图中不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$, 单因素方差分析)。下图同。

A. Traps 0.3 m from the elevated hive; B. Traps 1 m from the elevated hive; C. Traps 0.3 m from the grounded hive; D. Traps 1 m from the grounded hive; E. Traps hanging from a branch 2 m from the hive; F. Number of wasps on day 14 for the 5 types of traps at a distance of 1 m from an elevated beehive.

Different lowercase letters in the figure indicate significant difference ($P<0.05$, One-way ANOVA). The same below.

表 2 不同诱捕器参数与第 14 天胡蜂数量皮尔逊相关性分析

Table 2 Pearson correlation analysis between different trap parameters and Vespidae population on day 14

	胡蜂数量 Wasp population	引诱剂体积 Volume of attractant	瓶口直径 Diameter of bottle mouth	瓶高 Bottle height	瓶身倾斜度 Inclination of bottle body
皮尔逊相关系数	1.000	0.058	0.419*	- 0.223	0.263*
胡蜂数量 Vespidae population					
显著性 (双尾)		0.627	0.000	0.060	0.025
Significance (two-tailed)					

*表示 $P<0.05$ (双尾), 相关性显著。

* indicates $P<0.05$ (two-tailed), the correlation is significant.

(图 2: F), 发现 H-D1 试验点效果最佳, 显著高于另外 3 组 ($P<0.05$), 而 H-D0.3、L-D0.3 和 L-D1 这 3 个试验点间的胡蜂数量差异不显著 ($P>0.05$)。

2.3 诱捕器种类和位置的组合效果、简单效应和交互作用分析

通过比较第 14 天各位置不同诱捕器的诱

捕效果发现 (表 3), 1 号诱捕器在距离垫高蜂箱 1 m 处时胡蜂诱捕效果最优, 其诱捕胡蜂数量显著高于其他几种处理 ($P<0.05$), 但与距离垫高蜂箱 0.3 m 处的 1 号诱捕器相比无显著差异 ($P>0.05$)。

进一步分析诱捕器类型和位置这两个因素的简单效应, 以及二者是否存在交互作用 (表 4)。结果显示, 选择 1 号诱捕器时,

位置的简单效应显著 ($P<0.05$), 然而选择另外 4 种诱捕器时, 位置的简单效应不显著 ($P>0.05$)。

选择在距离垫高峰箱 1 m (H-D1) 处时, 诱捕器类型的简单效应显著 ($P<0.05$), 在其

他位置时, 诱捕器类型的简单效应不显著 ($P>0.05$)。表明诱捕器类型和位置间存在交互作用, 即诱捕器效果会随着位置发生变化。只有在距离垫高峰箱 1 m (H-D1) 时, 诱捕器类型才影响诱捕效果 (表 5)。

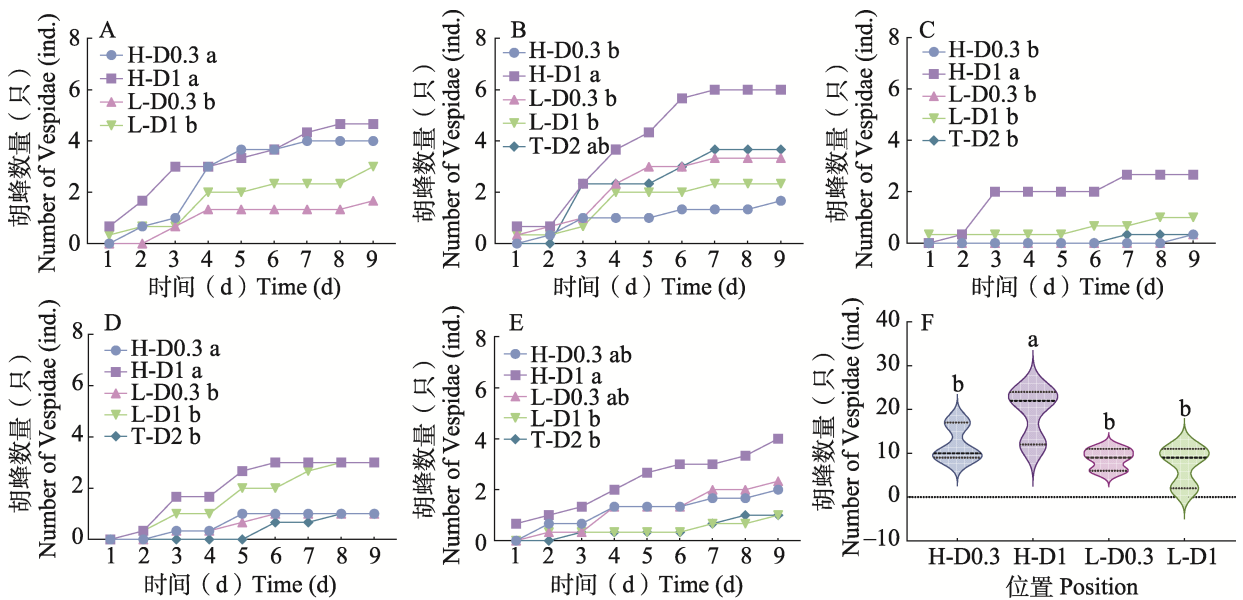


图 2 诱捕器位置对胡蜂诱捕效果的影响

Fig. 2 Effect of trap position on Vespidae trapping efficiency

A. 1 号诱捕器; B. 2 号诱捕器; C. 3 号诱捕器; D. 4 号诱捕器; E. 5 号诱捕器;
F. 第 14 天 1 号诱捕器在 4 个位置诱捕的胡蜂数量。

H-D0.3: 诱捕器距离垫高峰箱 0.3 m; H-D1: 诱捕器距离垫高峰箱 1 m; H-D1: 诱捕器距离地面蜂箱 0.3 m; L-D1: 诱捕器距离地面蜂箱 1 m; T-D2: 诱捕器挂于距离蜂箱 2 m 的树枝上。下图及下表同。

A. Trap 1; B. Trap 2; C. Trap 3; D. Trap 4; E. Trap 5; F. Number of wasps trapped by trap 1 at four positions on day 14. H-D0.3: Traps 0.3 m from the elevated hive; H-D1: Traps 1 m from the elevated hive; H-D1: Traps 0.3 m from the grounded hive; L-D1: Traps 1 m from the grounded hive; T-D2: Traps hanging from a branch 2 m from the hive. The same below.

表 3 第 14 天不同试验处理胡蜂数量

Table 3 Number of Vespidae on day 14 of different experimental treatments

诱捕器编号 Trap no.	位置 Position				
	H-D0.3	H-D1	L-D0.3	L-D1	T-D2
1 号 Trap 1	12.00±2.52 ab	19.33±3.71 a	8.67±1.45 b	7.33±2.73 b	-
2 号 Trap 2	13.00±3.60 a	8.00±2.31 a	5.67±0.88 a	7.33±4.48 a	7.67±0.67 a
3 号 Trap 3	4.67±3.28 a	4.33±1.76 a	5.67±3.48 a	5.00±2.52 a	3.00±1.15 a
4 号 Trap 4	3.67±3.18 a	4.00±3.06 a	1.67±0.33 a	5.33±2.73 a	5.33±1.76 a
5 号 Trap 5	11.00±7.50 a	10.67±5.24 a	5.67±1.86 a	10.00±1.73 a	6.33±2.03 a

表中数据为平均值±标准误, 同行数据后标有不同小写字母表示显著性差异 ($P<0.05$, Dunn's 检验)。
Data in the table are mean±SE, and followed by different lowercase letters within the same row indicate significant difference ($P<0.05$, Dunn's test).

表 4 不同诱捕器第 14 天胡蜂数量单变量检验

Table 4 Univariate test of Vespidae population on day 14 in different traps

诱捕器编号 Trap no.		平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	<i>F</i>	显著性 Significance	偏 Eta 平方 Partial Eta squared
1 号 Trap 1	对比 Comparison	259.667	3	86.556	3.044	0.038	0.160
	误差 Error	1 364.667	48	28.431			
2 号 Trap 2	对比 Comparison	91.333	4	22.833	0.803	0.529	0.063
	误差 Error	1 364.667	48	28.431			
3 号 Trap 3	对比 Comparison	11.733	4	2.933	0.103	0.981	0.009
	误差 Error	1 364.667	48	28.431			
4 号 Trap 4	对比 Comparison	27.333	4	6.833	0.240	0.914	0.020
	误差 Error	1 364.667	48	28.431			
5 号 Trap 5	对比 Comparison	76.933	4	19.233	0.677	0.612	0.053
	误差 Error	1 364.667	48	28.431			

每个 *F* 都将检验其他所示效应的每个级别组合中位置的简单效应。这些检验基于估算边际平均值之间的可估线性无关成对比较。图 5 同。

Each *F* will test the simple effect of position in each level combination of the other shown effects. These tests are based on estimable linearly uncorrelated pairwise comparisons between estimated marginal means. The same for Fig. 5.

表 5 不同位置第 14 天胡蜂数量单变量检验

Table 5 Univariate test for wasp population on day 14 at different positions

诱捕器位置 Trap position		平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	<i>F</i>	显著性 Significance	偏 Eta 平方 Partial Eta squared
H-D0.3	对比 Comparison	228.400	4	57.100	2.008	0.108	0.143
	误差 Error	1 364.667	48	28.431			
H-D1	对比 Comparison	470.933	4	117.733	4.141	0.006	0.257
	误差 Error	1 364.667	48	28.431			
L-D0.3	对比 Comparison	74.400	4	18.600	0.654	0.627	0.052
	误差 Error	1 364.667	48	28.431			
L-D1	对比 Comparison	48.000	4	12.000	0.422	0.792	0.034
	误差 Error	1 364.667	48	28.431			
T-D2	对比 Comparison	34.917	3	11.639	0.409	0.747	0.025
	误差 Error	1 364.667	48	28.431			

2.4 对蜜蜂科等其他非靶标昆虫的引诱效果

在第 14 天对所有处理组进行样本回收和统计分析,发现诱捕器内除了胡蜂外,还有一些蜜蜂科 Apidae、尺蛾科 Geometridae、以及少量的粉蝶科 Pieridae 和蚁科 Formicidae、蜚蠊科 Blattidae、丽蝇科 Calliphoridae 等非靶标昆虫

(Non-target insects)。结果显示,1 号诱捕器在第 14 天不同诱捕点位置的蜜蜂科、尺蛾科和蚁科等非靶标昆虫数量均无显著差异 ($P>0.05$),且数量较少(图 3: A)。同时,分析第 14 天 H-D1 处 5 种诱捕器的蜜蜂科、尺蛾科和蚁科等非靶标昆虫数量,发现 1 号诱捕器诱捕的蜜蜂科昆虫数量仅略高于 3 号诱捕器,但均与其他 4 种

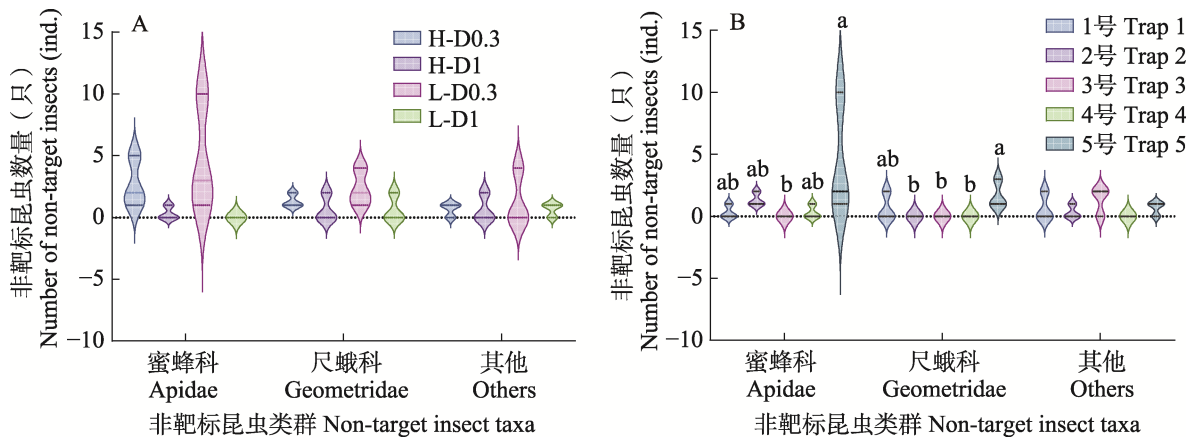


图3 第14天不同位置及诱捕器类型诱捕的非靶标昆虫数量

Fig. 3 Number of non-target insects trapped at different positions and trap types on day 14

A. 1号诱捕器在不同位置诱捕的非靶标昆虫数量; B. H-D1处5种诱捕器诱捕的非靶标昆虫数量。

A. Number of non-target insects trapped by trap 1 at different positions;

B. Number of non-target insects trapped by 5 traps at position H-D1.

诱捕器差异不显著 ($P>0.05$) ; 1号诱捕器在诱捕的尺蛾科和蚁科等非靶标昆虫的数量相较于另外4种诱捕器也没有显著差异 ($P>0.05$) (图3: B)。同时, 以本研究中筛选出的最优方案(将1号诱捕器放置于距离垫高蜂箱1 m处)为例, 第14天结果表明, 非靶标昆虫(包括蜜蜂科、尺蛾科和蚁科等)的数量显著少于靶标昆虫胡蜂数量 ($P<0.05$), 该方案诱捕的胡蜂平均数量为 (19.33 ± 3.71) 只, 其诱捕的非靶标昆虫平均数量为 (1.67 ± 0.33) 只。

3 讨论

胡蜂喜食甜味物质和酸性物质, 故诱捕器诱捕法多选择糖类或酸性物质作为诱饵 (Wilson-Rankin, 2014)。本研究选用糖水作为诱饵, 比较前9 d的胡蜂数量变化。诱捕器内的引诱剂溶液颜色随时间发生改变, 并伴有酸味, 其中的蔗糖溶液开始发酵, 产生酸性物质。之后随着发酵程度的增加, 胡蜂引诱物质不断积累 (Masciocchi *et al.*, 2023)。本研究结果也发现, 随着时间推移胡蜂数量逐渐增加, 进一步证明糖水发酵所产生的物质在不断积累 (Burger *et al.*, 2024), 并且逃脱诱捕器的胡蜂也会对其他胡蜂产生“招募行为” (Bulgarella *et al.*, 2022), 从而吸引来更

多的胡蜂进入诱捕器。

从应用场景出发, 本研究选择了5种常用的诱捕装置进行实验。研究表明, 1号诱捕器(锥形瓶)是最佳的诱捕装置。为了理解其高效诱捕的原因, 将该5种诱捕器的参数进行了量化, 皮尔逊相关性分析表明不同诱捕器的引诱剂体积和诱捕器瓶高与诱捕的胡蜂数量均无显著相关性, 说明由不同诱捕器本身尺寸差异带来的引诱剂体积和瓶高差异并不会对胡蜂诱捕效果造成影响。而诱捕的胡蜂数量与诱捕器瓶口直径和瓶身倾斜度呈显著正相关关系, 即瓶口越大或者斜度越大, 诱捕效果越好。相较于3号和4号, 1号、2号和5号诱捕器瓶口直径更大, 更大的瓶口可能方便胡蜂进入, 故这3种诱捕器的胡蜂诱捕效果更好。而在这3种诱捕器中, 1号诱捕器的瓶身倾斜度最大, 其胡蜂诱捕效果最好。相较于另外4种诱捕器, 1号诱捕器(锥形瓶)结构特点为圆口, 宽底, 瓶身呈圆台状, 兼具最大的瓶口直径和倾斜度。故推测其因瓶口较大, 容易引诱胡蜂进入, 结合观察发现, 当胡蜂被诱入1号诱捕器时, 往往难以逃脱, 最后挣扎无力至死, 这可能与瓶身倾斜度较大的这一结构有关。值得注意的是, 虽然胡蜂数量与诱捕器瓶口直径和瓶身倾斜度具有显著相关性, 但是呈中等或弱相关, 说明多因素共同实现了高效诱

捕,这可能与某些商用的效果较好的诱捕器“易进难出”的原理类似(Rojas-Nossa *et al.*, 2023),表明通过对某些指标的选择,常见的诱捕容器也能达到良好的胡蜂诱捕效果,同时在挑选诱捕器时多因素综合考虑是必要的。相较于目前的一些商用诱捕器,本研究所选择的诱捕器成本低廉,获取方便,蜂农接受度更高,更适用于养蜂生产实践场景,且诱捕效果较好,有利于蜂场推广应用。

实验蜂场 100 m 范围内未见胡蜂蜂巢,胡蜂蜂巢到蜂箱的距离远大于本实验不同实验点的距离,故本实验结果不受实验点距离胡蜂巢的远近的影响。进一步比较 1 号诱捕器在不同位置的胡蜂数量,结果显示距离垫高蜂箱 1 m 处的位置效果最佳。具体分析发现,垫高蜂箱的胡蜂诱捕效果总体优于直接将蜂箱放置于地面的胡蜂诱捕效果。相较于将蜂箱直接摆放于地面,垫高蜂箱的巢门口与诱捕器瓶口所处水平线差距缩小。当胡蜂捕杀蜜蜂时,其飞行路线与瓶口和巢门口之间的水平线的重合范围增大,从而更容易经过诱捕器瓶口,极大增加被其中的引诱剂所吸引的概率;而当蜂箱直接摆放于地面时,诱捕器的放置可能对胡蜂的飞行路线起阻挡作用,从而改变胡蜂的飞行路线,降低胡蜂被引诱剂吸引的概率,造成同样的诱捕器产生不同的胡蜂诱捕效果。此外,不同距离也可能会影响诱捕器的胡蜂诱捕效果,在 1 号诱捕器放置于垫高蜂箱巢门前时,远距离(D1)比近距离(D0.3)的效果略好,这可能与胡蜂的觅食策略有关(Pietrantuono *et al.*, 2018);在巢门口与诱捕器瓶口几乎处于同一水平线时,当胡蜂从远处飞来要捕食蜜蜂时,若诱捕器瓶口距离巢门口较远,此时蜂群还有一定距离,胡蜂首先经过诱捕器,可以较不费力地获取食物,故而受到引诱剂吸引而选择进入诱捕器的概率更高;而诱捕器瓶口距离巢门口较近时,当胡蜂几乎同时抵达诱捕器容器口和巢门口附近时,可能会在进入诱捕器取食糖水和捕食蜜蜂之间进行抉择,从而降低了诱捕器发挥作用的概率(Sabrina *et al.*, 2014; Wilson-Rankin, 2014);诱捕器距离巢门口更近时也大大增加了

蜜蜂误入的概率,造成养蜂生产上的损失。因此,选择 1 号诱捕器和 H-D1 的组合方案的胡蜂诱捕效果最好。综上,不同诱捕器的放置距离及其与蜂箱的相对位置会对胡蜂的觅食策略产生影响,然而目前诸如胡蜂的觅食策略和招募机制等生物学特性尚未明确,而认识胡蜂的觅食行为和抉择策略是改进胡蜂防治措施和促进胡蜂资源应用的理论基础。因此,未来可以结合诱捕器类型、诱饵种类和设置不同的位置来构建相应的胡蜂行为研究模型以进一步探究胡蜂的招募机制和觅食策略等生物学特性。

此外,本研究在第 14 天统计胡蜂数量时发现,诱捕器内还发现非靶标昆虫,包括尺蛾科、蚁科、粉蝶科、丽蝇科和蜚蠊科等在蜂场常见一些蜜蜂的竞争或敌害昆虫,以及少量蜜蜂科昆虫,这与 Sánchez 和 Arias (2021) 研究发现一致,表明在应用诱捕器诱捕法时应当重视诱捕器的诱捕物种靶标特异性和诱捕效率(Wilson-Rankin, 2021)。非靶标昆虫的数量远小于胡蜂的数量,说明本研究设置的诱捕方案的主要靶标昆虫仍为胡蜂,能够满足胡蜂防治需求。一方面要求注意引诱剂、诱捕器种类或位置可能会引起盗蜂(Landolt and Zhang, 2016; Neupert *et al.*, 2022),另一方面也要看到该方法发挥胡蜂诱捕作用时的绿色、综合防控的潜力(Lioy *et al.*, 2020)。

综上,本研究比较不同的诱捕器类型和位置对诱捕胡蜂效果的影响,兼顾考虑组合方案对胡蜂和非靶标昆虫的诱捕效果,在离垫高蜂箱 1 m 处放置锥形瓶的方案能够达到最佳的胡蜂诱捕效果,而不容易误捕蜜蜂,并且在综合防控蜜蜂其他敌害昆虫效果上并不逊色,因而是综合效果最佳的胡蜂防控方案。此外,本研究对不同诱捕器类型造成胡蜂诱捕效果差异的原因进行了初步探究,发现胡蜂诱捕效果与诱捕器的瓶口直径和瓶身倾斜度有关,表明在挑选诱捕器时多因素综合考虑是必要的。本研究结果表明,在养蜂生产中应用引诱剂诱捕法时,应当兼顾考虑诱饵、诱捕器和位置的选择,以达到更高效、绿色和综合的胡蜂防控效果。

参考文献 (References)

- Bulgarella M, Miele AE, Rodríguez J, Campaña Y, Richardson GM, Keyzers RA, Causton CE, Lester PJ, 2022. Integrating biochemical and behavioral approaches to develop a bait to manage the invasive yellow paper wasp *Polistes versicolor* (Hymenoptera, Vespidae) in the Galápagos Islands. *Neotropical Biodiversity*, 8(1): 271–280.
- Burger H, Buttala S, Koch H, Ayasse M, Johnson SD, Stevenson PC, 2024. Nectar cardenolides and floral volatiles mediate a specialized wasp pollination system. *The Journal of Experimental Biology*, 227(1): jeb246156.
- Cui J, Zhang YN, Li XH, Zhang YL, Wang PX, Li YZ, Li ML, 2007. Progress in the studies of social wasps. *Journal of Northwest Forestry University*, 22(2): 111–114. [崔俊, 张跃宁, 李幸辉, 张雅林, 王培新, 李有忠, 李孟楼, 2007. 中国袭人胡蜂防治研究进展. 西北林学院学报, 22(2): 111–114.]
- Fei ZH, Lin ZG, Zheng HQ, Hu FL, 2014. Wasps for beekeepers. *Apiculture of China*, 65(6): 20–21. [费中华, 蔺哲广, 郑火青, 胡福良, 2014. 胡蜂之于养蜂人. 中国蜂业, 65(6): 20–21.]
- Ge F, Ou YF, Zhao ZH, 2014. Ecological management of insects based on ecological services at a landscape scale. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(3): 597–605. [戈峰, 欧阳芳, 赵紫华, 2014. 基于服务功能的昆虫生态调控理论. 应用昆虫学报, 51(3): 597–605.]
- Landolt P, Zhang QH, 2016. Discovery and development of chemical attractants used to trap pestiferous social wasps (Hymenoptera: Vespidae). *Journal of Chemical Ecology*, 42(7): 655–665.
- Li TS, 1985. The Economic Insects of China: Hymenoptera (Hymenoptera). Volume 30. Beijing: Science Press. 1–159. [李铁生, 1985. 中国经济昆虫志: 膜翅目(胡蜂总科). 第三十册. 北京: 科学出版社. 1–159.]
- Li YJ, Li XH, Zou YF, Li ML, 2009. The biological characteristics of three kinds of sting wasps in southern Shaanxi. *Journal of Northwest Forestry University*, 24(6): 102–105. [李艳杰, 李幸辉, 邹远奋, 李孟楼, 2009. 陕南地区 3 种袭人胡蜂的生物学特性研究. 西北林学院学报, 24(6): 102–105.]
- Lioy S, Laurino D, Capello M, Romano A, Manino A, Porporato M, 2020. Effectiveness and selectiveness of traps and baits for catching the invasive hornet *Vespa velutina*. *Insects*, 11(10): 706.
- Masciocchi M, Mattiacci A, Villacide JM, Buteler M, Porrino AP, Martínez AS, 2023. Sugar responsiveness could determine foraging patterns in yellowjackets. *Scientific Reports*, 13(1): 20448.
- Mattiacci A, Goñalons CM, Masciocchi M, Corley JC, 2024. Gustatory responsiveness in *Vespula germanica* workers: Exploring the interplay between sensory perception and task specialization. *Insect Science*, 31(2): 587–598.
- Neupert S, Jandt JM, Szyszka P, 2022. Sugar alcohols have the potential as bee-safe baits for the common wasp. *Pest Management Science*, 78(7): 3005–3011.
- Peng CT, Guo DS, Chen B, Yan WY, 2020. Comparison of different wasp trapping methods in apiaries. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(5): 1148–1151. [彭成涛, 郭冬生, 陈兵, 颜伟玉, 2020. 蜂场胡蜂诱捕方法的比较研究. 应用昆虫学报, 57(5): 1148–1151.]
- Pietrantuono AL, Moreyra S, Lozada M, 2018. Foraging behaviour of the exotic wasp *Vespula germanica* (Hymenoptera: Vespidae) on a native caterpillar defoliator. *Bulletin of Entomological Research*, 108(3): 406–412.
- Poidatz J, Monceau K, Bonnard O, Thiéry D, 2018. Activity rhythm and action range of workers of the invasive hornet predator of honeybees *Vespa velutina*, measured by radio frequency identification tags. *Ecology and Evolution*, 8(15): 7588–7598.
- Requier F, Rome Q, Chiron G, Decante D, Marion S, Menard M, Muller F, Villemant C, Henry M, 2019. Predation of the invasive Asian hornet affects foraging activity and survival probability of honey bees in Western Europe. *Journal of Pest Science*, 92(2): 567–578.
- Rojas-Nossa SV, Mato S, Feijoo P, Lagoa A, Garrido J, 2023. Comparison of effectiveness and selectiveness of baited traps for the capture of the invasive hornet *Vespa velutina*. *Animals*, 14(1): 129.
- Sabrina M, D'Adamo P, Lozada M, 2014. The influence of past experience on wasp choice related to foraging behavior. *Insect Science*, 21(6): 759–764.
- Sánchez O, Arias A, 2021. All that glitters is not gold: The other insects that fall into the Asian yellow-legged hornet *Vespa velutina* 'specific' traps. *Biology*, 10(5): 448.
- Wang XW, Li T, Zhuo ZH, Deng ZB, Yang W, Yang CP, 2015. Analysis of resource value and harm of wasps. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 36(2): 42–47. [王兴旺, 李涛, 卓志航, 邓忠彬, 杨伟, 杨春平, 2015. 浅析胡蜂的资源价值及危害. 四川林业科技, 36(2): 42–47.]
- Wilson-Rankin EE, 2014. Social context influences cue-mediated recruitment in an invasive social wasp. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 68(7): 1151–1161.
- Wilson-Rankin EE, 2021. Emerging patterns in social wasp invasions. *Current Opinion in Insect Science*, 46: 72–77.
- Zhang D, Li YH, Huang XY, Jiang S, Zhang WM, Meng W, Wang HJ, Du YJ, 2024. Analysis of factors affecting the sex pheromone trapping of the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) moths. *Chinese Journal of Biological Control*, 40(4): 760–769. [张丹, 李艳辉, 黄欣阳, 江爽, 张万名, 孟威, 王浩杰, 杜永均, 2024. 影响番茄潜叶蛾性信息素诱捕效果的因子分析. 中国生物防治学报, 40(4): 760–769.]