

大豆离体器官对点蜂缘蝽取食行为与生长发育的影响*

田舸帆^{1, 2**} 郭江龙² 安静杰² 党志红² 苏宗然³
李耀发^{2***} 刘浩宇^{1***} 高占林^{2***}

(1. 河北大学生命科学学院, 保定 071000; 2. 河北省农林科学院植物保护研究所, 农业农村部华北北部作物有害生物综合治理重点实验室, 河北省农业有害生物综合防治技术创新中心, 保定 071000;

3. 承德濡水农业科技有限公司, 承德 067000)

摘要 【目的】明确大豆茎、叶、花和荚对点蜂缘蝽 *Riptortus pedestris* 取食趋性和生长发育的影响。【方法】采用 Y 型嗅觉仪和叶碟法, 测定了点蜂缘蝽对大豆茎、叶、花和荚的趋性和取食选择率, 并利用年龄-龄期两性生命表, 评估大豆不同器官对点蜂缘蝽发育历期、繁殖力、存活率以及种群参数的影响。【结果】Y 型嗅觉仪测定表明, 与空白对照相比, 点蜂缘蝽成虫对大豆的茎、叶、花和荚均有明显趋性 (叶: $\chi^2 = 11.21, P = 0.001$; 茎: $\chi^2 = 4.50, P = 0.03$; 花: $\chi^2 = 5.88, P = 0.02$; 荚: $\chi^2 = 5.09, P = 0.02$), 其中对叶的趋性最高, 选择率为 65.00%。比较对 4 种离体器官的趋性发现, 点蜂缘蝽对叶的选择率显著高于茎 ($\chi^2 = 4.38, P = 0.04$) 和荚 ($\chi^2 = 6.04, P = 0.01$)。叶碟法测定表明, 点蜂缘蝽不同龄期若虫及成虫对大豆荚表现出强烈的取食偏好性, 取食率为 60.67%-72.67%, 对茎、叶和花无明显取食偏好性, 取食率均低于 20.00%。点蜂缘蝽取食茎、叶、花和荚后, 1 龄若虫的发育历期和存活率均无显著差异 ($\chi^2 = 2.01, P = 0.57$)。仅取食豆荚的点蜂缘蝽可以完成个体发育, 取食茎、叶和花的点蜂缘蝽在 2 龄若虫期全部死亡。取食豆荚的点蜂缘蝽种群净增值率 (R_0) 为 55.802, 内禀增长率 (r) 为 0.077, 周限增长率 (λ) 为 1.081 及平均世代周期 (T) 为 52.40 d。【结论】点蜂缘蝽对大豆叶趋性最强, 对豆荚取食偏好性最高, 并且取食豆荚可以完成整个生活史。研究结果对指导田间点蜂缘蝽的虫情调查和防控具有重要意义。

关键词 点蜂缘蝽; 大豆器官; 取食行为; 生长发育; 种群参数

Preference of *Riptortus pedestris* for different parts of soybean plants, and the effects of feeding on different parts of soybeans on its feeding behavior, growth and development

TIAN Ge-Fan^{1, 2**} GUO Jiang-Long² AN Jing-Jie² DANG Zhi-Hong²
SU Zong-Ran³ LI Yao-Fa^{2***} LIU Hao-Yu^{1***} GAO Zhan-Lin^{2***}

(1. College of Life Science, Hebei University, Baoding 071000, China; 2. Plant Protection Institute, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, IPM Center of Hebei Province, Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northern Region of North China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, P. R. China, Baoding 071000, China;

3. Chengde Rushui Agricultural Science and Technology Co., LTD., Chengde 067000, China)

Abstract 【Aim】To determine the relative preference of *Riptortus pedestris* for soybean stems, leaves, flowers and pods, and the effects of feeding on these on the feeding, growth and development of this pest. 【Methods】A Y-type olfactometer and leaf dish were used to determine the relative preference of *R. pedestris* for soybean stems, leaves, flowers and pods. The

*资助项目 Supported projects: 河北省省级科技计划资助 (22326513D); 河北省自然科学基金 (C2022301052); 河北省现代农业产业技术体系建设专项 (HBCT2024060207); 河北省农林科学院现代农业科技创新工程 (2022KJCXZX-ZBS-4)

**第一作者 First author, E-mail: 13076047672@163.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: liyaofa@126.com; liuhuy@hbu.edu.cn; gaozhanlin@sina.com

收稿日期 Received: 2024-07-06; 接受日期 Accepted: 2024-10-12

effects of feeding on these different soybean parts on the survival rate, development period, fecundity and population parameters, were then investigated by compiling an age-stage, life table for each sex. **[Results]** Adult *R. pedestris* significantly preferred the stems, leaves, flowers and pods of soybeans (Leaf: $\chi^2 = 11.21$, $P = 0.001$; Stem: $\chi^2 = 4.50$, $P = 0.03$; Flower: $\chi^2 = 5.88$, $P = 0.02$; Pod: $\chi^2 = 5.09$, $P = 0.02$) to the control substance, displaying the strongest preference for leaves (65.00%). Adults also significantly preferred leaves to stems ($\chi^2 = 4.38$, $P = 0.04$) and pods ($\chi^2 = 6.04$, $P = 0.01$). Nymphs and adults had a strong preference for soybean pods, with feeding rates ranging from 60.67% to 72.67%, but no obvious preference for the other three plant parts, with feeding rates < 20.00%. Food type had no significant effect ($\chi^2 = 2.01$, $P = 0.57$) on the developmental duration and survival rate of 1st instar nymphs. However, only larvae that fed on pods were able to complete development, those that were restricted to the other plant parts only reached the 2nd instar before dying. Larvae that fed on pods had a net reproductive rate (R_0), intrinsic rate of increase (r), finite rate of increase (λ), and mean generation time (T) of 55.802, 0.077, 1.081, and 52.40 d, respectively. **[Conclusion]** *R. pedestris* is strongly attracted to soybean leaves but prefers feeding on soybean pods, which are the only part of soybean plants on which it can complete its development.

Key words *Riptortus pedestris*; soybeans organs; feeding behavior; growth and development; population parameter

点蜂缘蝽 *Riptortus pedestris* 属半翅目 Hemiptera 蛛缘蝽科 Alydidae, 是一种重要的农业害虫, 广泛分布于东亚和东南亚地区, 在我国主要分布在浙江、江苏、江西、安徽、福建、湖北、四川、河南和河北等省 (谢皓等, 2016; Li *et al.*, 2021)。点蜂缘蝽寄主广泛, 能够取食 13 科 30 多种植物, 尤其嗜食豆科植物如大豆 *Glycine max* 和绿豆 *Vigna radiata* (Li *et al.*, 2019)。成虫和若虫均以刺吸方式在大豆花荚期聚集危害, 造成大豆的蕾、花凋落, 生育期延长, 果荚形成瘰粒、瘰荚, 严重时全株瘰荚, 颗粒无收 (谢皓等, 2016)。近年来, 点蜂缘蝽在我国黄淮海地区发生呈加重趋势, 极大威胁大豆的安全生产。研究表明, 点蜂缘蝽的取食可引起大豆植株营养物质运输受阻, 荚果和种子败育, 造成“症青”现象, 严重降低大豆的产量和质量 (Li *et al.*, 2019, 2021)。加强点蜂缘蝽生物学特性的研究, 尤其是取食选择偏好性与种群适合度研究将为该虫的有效防控提供有力支持。

昆虫在长期演化过程中, 已经实现了对周围环境的实时监测, 进而完成取食、产卵和交配等活动, 其中嗅觉和味觉起着重要作用 (杨科和王琛柱, 2023)。昆虫借助嗅觉系统识别较远距离的寄主植物, 借助味觉系统识别近距离的食物 (杨科和王琛柱, 2023)。鉴于嗅觉和味觉感受在昆虫食物选择方面的重要性, 相关工作已得到广泛研究。例如, 多异瓢虫 *Hippodamia variegata* 通过

嗅觉系统可以感受蚜虫挥发物和植物挥发物, 进而定位猎物 (Tang *et al.*, 2023); 十字花科植物会产生一类特有的挥发物——硫氰酸酯类化合物 (Isothiocyanate, ITC), 黄曲条跳甲 *Phyllotreta striolata* 利用该类物质进行寄主植物定位选择 (Xiao *et al.*, 2024)。由于不同植物中营养物质和次生物质的种类和含量不同, 昆虫对寄主植物的选择性差异会影响其生殖发育参数, 进而影响种群动态发展。因此, 昆虫的生物学指标, 如发育历期、产卵量和存活率在一定程度上可以反映昆虫对食料的偏好性和适应程度 (郭婷婷等, 2018)。该方面的研究已经在多种昆虫中得到了验证, 如二点委夜蛾 *Athetis lepigone* (郭婷婷等, 2018)、黄草地螟 *Loxostege verticalis* (于洪春等, 2022) 和草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (唐雪等, 2023)。

国内外许多学者研究了不同食料对点蜂缘蝽生长发育的影响。Kim 和 Lim (2012) 发现, 苹果和柿子并不是点蜂缘蝽的主要食物来源, 只取食苹果或柿子点蜂缘蝽若虫无法正常生长发育。Mainali 等 (2014) 测定了豇豆 *Vigna unguiculata*、白芸豆 *Phaseolus vulgaris* 和绿豆等植物种子对点蜂缘蝽生长发育和繁殖率的影响, 表明豇豆种子是最适宜的天然饲料。郭江龙等 (2023) 分别采用新鲜芸豆荚和四季豆荚饲养点蜂缘蝽若虫, 对其生长发育进行研究, 发现采用新鲜芸豆荚饲养能够实现点蜂缘蝽的批量饲养。

以上研究主要针对于不同食料饲喂对点蜂缘蝽生长发育的影响,而同一寄主不同器官饲喂对点蜂缘蝽生长发育的影响鲜有报道。田鑫月等(2021)利用大豆离体器官饲喂点蜂缘蝽,发现仅取食豆荚的点蜂缘蝽才能完成个体发育。然而,该研究缺乏系统的生长发育和种群动态参数描述,同时未将点蜂缘蝽寄主选择行为与生长发育相关参数结合分析。鉴于此,本研究首先采用Y型嗅觉仪和叶碟法测定了点蜂缘蝽若虫及成虫对4种大豆离体器官(茎、叶、花和荚)的取食选择行为。然后,利用年龄-龄期两性生命表分析了取食不同器官对点蜂缘蝽发育历期、繁殖力和存活率等参数的影响,以期对点蜂缘蝽的田间综合防治提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试昆虫 2019年7-9月,于河北省石家庄市平山县近掌村大豆田中采集点蜂缘蝽若虫和成虫,并在河北省农林科学院植物保护研究所杀虫剂研究室的养虫室内进行人工饲养。环境条件为温度(26 ± 1) $^{\circ}\text{C}$,相对湿度50%-60%,光周期16 L:8 D。具体饲养方法如下:1-5龄若虫置于塑料养虫盒中(直径12 cm,高10 cm)并用新鲜芸豆荚饲养,待成虫出现后,挑选健康活泼的雌雄成虫进行配对饲养,每盒10对左右。挑选生理状态一致且健康活泼的1-5龄若虫和成虫进行试验。

1.1.2 供试作物 供试大豆品种为冀豆12,由河北省农林科学院粮油作物研究所提供。播种于塑料花盆中(高12 cm,直径14 cm),每盆播种3穴,每穴播种2粒种子,定期浇水,选择长势良好,无病虫害的花荚期植株备用。

1.2 研究方法

1.2.1 点蜂缘蝽成虫对大豆不同器官的趋性 采用Y型嗅觉仪(直管长15 cm,两臂长10 cm,内径2.5 cm,夹角 70°)测定点蜂缘蝽成虫对大豆4种离体器官的趋性行为。以空气为空白对

照,试验共设置11个组合:茎-空气、叶-空气、花-空气、荚-空气、茎-叶、茎-花、茎-荚、叶-花、叶-荚和花-荚。测试时将大豆不同器官置于气源瓶内,打开通气阀通气6 min,将气体充满整个管道,将饥饿处理24 h的点蜂缘蝽成虫引入Y型嗅觉仪的基管末端,10 min内观察其对两臂气味的选择,当点蜂缘蝽成虫进入Y型管壁的2/3处视为选择,若10 min内无选择,则视为无反应。每测试5头试虫后,需交换Y型嗅觉仪两臂。每测试10头试虫,用无水乙醇清洗管壁,并用烘箱烘干,消除误差。每组试验测试80头点蜂缘蝽成虫,每头试虫仅测试一次。

1.2.2 点蜂缘蝽对大豆不同器官的取食测定 采用叶碟法进行测定,选择大豆植株的茎、叶、花和荚4种器官(每种器官的质量为0.5 g),用脱脂棉包裹离体器官的一端保湿,采用对角线法将各器官摆放入玻璃培养皿中(直径20 cm),随后分别将饥饿处理24 h的点蜂缘蝽1-5龄若虫及成虫置于培养皿的中央。接虫30 min后观察并记录不同器官上点蜂缘蝽的取食情况。每次每个龄期测定30头,每个龄期重复5次。试验在恒温养虫室内进行,其条件与点蜂缘蝽饲养条件相同。

1.2.3 大豆离体器官对点蜂缘蝽生长发育参数测定 试验共设4个处理组,分别饲喂大豆茎、叶、花和荚。收集同一时期产下的点蜂缘蝽卵粒,单粒放置于养虫盒(长 $\times$ 宽 $\times$ 高=7 cm $\times$ 7 cm $\times$ 5 cm)中,待其孵化后,将大豆的茎、叶、花和荚(每种器官的质量为0.5 g)分别用脱脂棉包裹一端进行保湿,然后置于养虫盒底部进行饲喂。每天上午10:00观察并记录养虫盒中点蜂缘蝽若虫的存活状态和蜕皮情况。待成虫羽化后,将各处理组新羽化的雌雄成虫配对,并转入新的养虫盒中成对饲养,观察并记录点蜂缘蝽成虫每天的存活状态和产卵量,直至成虫全部死亡。每个处理每2 d更换一次食料。每处理100粒卵。

1.2.4 种群生命表构建 按照年龄-龄期两性生命表理论(Chi, 1988)的计算方法记录原始数据,将原始数据包括发育历期和日产卵量等导入两

性生命表软件 TWOSEX-MSChart 进行分析。种群年龄特征存活率 (l_x)、种群年龄-特征繁殖力 (m_x)、净增值率 (R_0)、内禀增长率 (r)、周限增长率 (λ) 和平均世代周期 (T) 计算公式如下 (Goodman, 1982; Chi and Liu, 1985):

$$\text{种群年龄特征存活率 } (l_x): l_x = \sum_{j=1}^m S_{xj};$$

$$\text{种群年龄-特征繁殖力 } (m_x): m_x = \frac{\sum_{j=1}^m S_{xj} f_{xj}}{\sum_{j=1}^m S_{xj}};$$

$$\text{净增值率 } (R_0): R_0 = \sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x;$$

$$\text{内禀增长率 } (r): r = \sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x e^{-r(x+1)} = 1;$$

$$\text{周限增长率 } (\lambda): \lambda = e^r;$$

$$\text{平均世代周期 } (T): T = \frac{\ln R_0}{r}。$$

上述公式中 x 代表年龄, 单位是 d, $x = 1, 2, 3, \dots$; j 代表龄期, $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$; S_{xj} 指个体从卵发育到年龄 x , 龄期 j 的概率; l_x 指从卵发育至年龄 x 的存活率; m_x 指整个种群在年龄 x 时的平均产卵数量; $l_x m_x$ 为种群年龄阶段-特征繁殖值, 表示为 l_x 和 m_x 的乘积。

特定年龄-龄期期望寿命 e_{xj} 指年龄 x 龄期为 j 的个体能够继续存活的天数, 计算公式如下 (Chi and Su, 2006):

$$e_{xj} = \sum_{i=x}^{\infty} \sum_{y=j}^m S'_{iy}$$

繁殖值 v_{xj} 指年龄 x , 龄期为 j 的个体对未来种群的贡献, 计算公式如下 (Tuan *et al.*, 2014):

$$v_{xj} = \frac{e^{r(x+1)}}{S_{xj}} \sum_{i=x}^{\infty} e^{-r(i+1)} \sum_{y=j}^m S'_{iy} f_{iy}$$

其中 S'_{iy} 是年龄 x , 龄期 j 的个体存活到年龄 i , 龄期 y 的概率。

1.3 数据处理

所有数据使用 Excel 2010 软件进行整理。点蜂缘蝽对大豆不同器官的取食率和发育历期差异

分析采用单因素方差分析 (One-way ANOVA), 如果差异显著则进行 Tukey's HSD 多重比较; 点蜂缘蝽卵孵化率、1 龄若虫存活率以及对大豆不同器官的趋性行为分析采用卡方 (χ^2) 测验, 分析的显著水平为 $P < 0.05$ 。采用 Bootstrap 方法计算点蜂缘蝽种群动态参数的平均值和标准误, Bootstrap 重复次数为 100 000。数据统计分析使用 SPSS17.0 软件, 作图使用 Graphpad prism 9.0 软件。

2 结果与分析

2.1 点蜂缘蝽成虫对大豆不同器官的趋性

由图 1 可知, 与空白对照相比, 点蜂缘蝽成虫对大豆茎、叶、花和荚均有明显的趋性, 其中对叶趋性最强, 选择率为 65.00% ($\chi^2 = 11.21$, $P = 0.001$), 对茎次之, 选择率为 56.25% ($\chi^2 = 4.50$, $P = 0.03$), 对花和荚选择率最低, 均为 55.00% (花: $\chi^2 = 5.88$, $P = 0.02$; 荚: $\chi^2 = 5.09$, $P = 0.02$)。通过比较对 4 种离体器官的趋性发现, 点蜂缘蝽对叶选择率显著高于茎 ($\chi^2 = 4.38$, $P = 0.04$) 和荚 ($\chi^2 = 6.04$, $P = 0.01$), 但与花无显著差异 ($\chi^2 = 1.43$, $P = 0.23$)。此外, 点蜂缘蝽对茎、花和荚之间的趋性均无显著差异 (茎-花: $\chi^2 = 1.86$, $P = 0.17$; 茎-荚: $\chi^2 = 0.35$, $P = 0.55$; 花-荚: $\chi^2 = 0.71$, $P = 0.40$)。

2.2 点蜂缘蝽对大豆不同器官的取食偏好性

由图 2 可知, 点蜂缘蝽若虫及成虫对大豆 4 种离体器官的取食率均存在显著差异。2 龄若虫对荚的取食率最高 ($F = 1\ 398.77$, $P < 0.001$), 为 72.67%, 其次为茎, 取食率为 10.00%, 再次为叶和花, 取食率均为 8.67%; 3 龄若虫对荚的取食率最高 ($F = 958.33$, $P < 0.001$), 为 70.00%, 叶和花的取食率最低, 为 9.33%; 4 龄若虫对荚的取食率最高 ($F = 454.93$, $P < 0.001$), 为 62.67%, 对叶的取食率最低, 为 11.33%; 5 龄若虫对荚的取食率最高 ($F = 548.67$, $P < 0.001$), 为 62.00%, 对叶的取食率最低, 为 11.33%; 成虫对荚的取食率最高 ($F = 4\ 24.11$, $P < 0.001$), 为 60.67%, 对花的取食率最低, 为 12.67%。

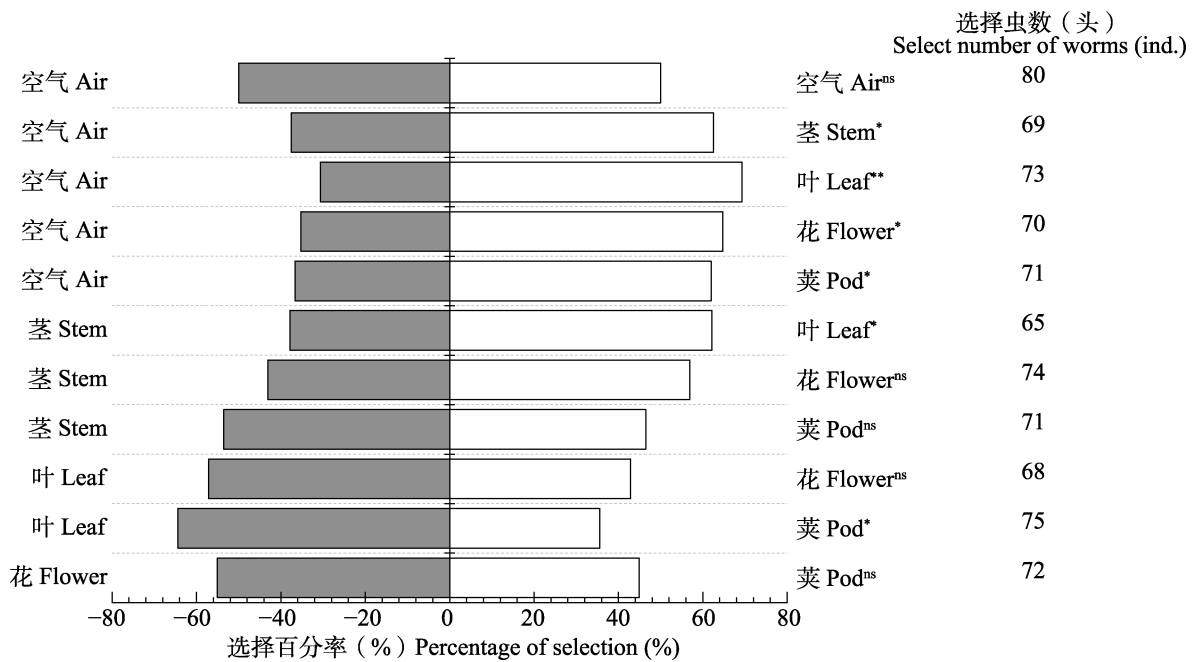


图 1 点蜂缘蝽成虫对大豆不同器官的行为反应

Fig. 1 Behavioral responses of *Riptortus pedestris* adults to different organs of soybean

星号表示经卡方检验后，点蜂缘蝽成虫对不同器官趋性存在显著差异 (* $P < 0.05$;

** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$); ns 表示两者无显著差异 ($P > 0.05$)。

Asterisks indicate significant difference in the tendency of *R. pedestris* adults to different organs by Chi-square test (* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$); ns indicates no significant difference ($P > 0.05$).

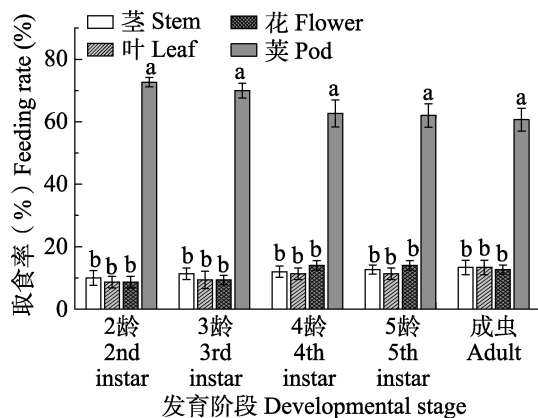


图 2 点蜂缘蝽若虫和成虫对大豆不同器官的取食率
Fig. 2 Feeding rate of *Riptortus pedestris* nymphs and adults for different organs of soybean

柱上标有不同字母代表经 Tukey's HSD 多重比较后在 0.05 水平上存在显著差异，相同字母差异不显著。

Histograms with different letters indicate significant difference in different organs of soybean at the 0.05 level by Tukey's HSD test, while with the same letters indicate no significant difference.

2.3 取食大豆不同器官对点蜂缘蝽生长发育影响

由表 1 可知，不同处理组点蜂缘蝽卵的平均

发育历期为 7.24-7.37 d，且无显著差异 ($F=0.78$, $P=0.51$)。点蜂缘蝽 1 龄若虫取食大豆茎、叶、花和荚后，其平均发育历期为 2.32-2.44 d，并且不同处理组无显著差异 ($F=0.63$, $P=0.60$)。只取食茎、叶和花的点蜂缘蝽无法正常发育至成虫，均存活至 2 龄时死亡。点蜂缘蝽取食豆荚可以存活至成虫并完成交配和产卵，其雌、雄成虫平均寿命分别为 54.68 和 59.94 d，平均单雌产卵量为 149.35 粒。

2.4 取食大豆不同器官对点蜂缘蝽存活率的影响

由表 2 可知，不同处理组点蜂缘蝽的卵孵化率为 89.00%-92.00%，且无显著差异 ($\chi^2 = 0.57$, $P=0.90$)。点蜂缘蝽 1 龄若虫取食大豆茎、叶、花和荚后，其存活率为 86.96%-92.31%，无显著差异 ($\chi^2 = 2.01$, $P=0.57$)，其中豆荚最高，为 92.31%，花最低，为 86.96%。点蜂缘蝽 2 龄若虫取食茎、叶和花后，全部死亡，取食豆荚的存活率为 92.86%。取食豆荚的 3-5 龄若虫的存活

表 1 大豆离体器官饲养的点蜂缘蝽各虫态的发育历期
Table 1 The developmental period of *Riptortus pedestris* feeding on isolated soybean organs

参数 Parameters	茎 Stem	叶 Leaf	花 Flower	荚 Pod
卵期 (d) Egg stage (d)	7.37±0.24 a	7.24±0.28 a	7.27±0.25 a	7.35±0.32 a
1 龄 (d) 1st instar (d)	2.40±0.50 a	2.32±0.55 a	2.36±0.48 a	2.44±0.51 a
2 龄 (d) 2nd instar (d)	-	-	-	4.01±0.14
3 龄 (d) 3rd instar (d)	-	-	-	4.54±0.13
4 龄 (d) 4th instar (d)	-	-	-	4.70±0.10
5 龄 (d) 5th instar (d)	-	-	-	6.73±0.15
成虫前期 (d) Preadult stage (d)	-	-	-	29.73±0.26
雌虫寿命 (d) Female longevity (d)	-	-	-	54.68±1.64
雄虫寿命 (d) Male longevity (d)	-	-	-	59.94±2.72
产卵前期 (d) Preoviposition period (d)	-	-	-	6.56±0.22
总产卵前期 (d) Total spawning period (d)	-	-	-	36.26±0.46
产卵期 (d) Oviposition period (d)	-	-	-	39.32±1.37
单雌产卵量 (粒) Single female oviposition (grains)	-	-	-	149.35±6.66

表中数据为平均值±标准误。“-”表示发育未完成。同行不同小写字母表示经 Tukey's HSD 多重比较后在 0.05 水平上差异显著。

The data in the table are mean±SE. “-” indicates incomplete development. Data followed by the different lowercase letters in the same row indicate significant difference at 0.05 level by Tukey's HSD.

表 2 大豆离体器官饲养的点蜂缘蝽若虫的存活率 (%)
Table 2 Survival rate of *Riptortus pedestris* nymphs feeding on isolated soybean organs (%)

离体器官 Isolated organs	卵 Egg	1 龄 1st instar	2 龄 2nd instar	3 龄 3rd instar	4 龄 4th instar	5 龄 5th instar	成虫前期 Preadult stage
茎 Stem	89.00	87.64	0	-	-	-	-
叶 Leaf	91.00	91.21	0	-	-	-	-
花 Flower	92.00	86.96	0	-	-	-	-
荚 Pod	91.00	92.31	92.86	91.03	97.18	97.10	67.00

“-”表示点蜂缘蝽未发育到该阶段。“-” indicates that *R. pedestris* failed to develop to that stage.

率均超过 90.00%，部分个体羽化为成虫。总体而言，以大豆荚饲养的点蜂缘蝽，其成虫前期的存活率可达到 67.00%。由图 3 可知，由于点蜂缘蝽个体间发育速度存在差异，导致存活率曲线重叠，其中雌虫最高存活天数为 106 d，雄虫为 119 d。由图 4 可知，随着年龄增加，点蜂缘蝽存活率开始下降较快，年龄为 9 d，存活率为 98.90%；年龄为 19 d，存活率下降到 79.12%；年龄从 20-61 d，存活率基本保持不变，数值从 76.92%降到 73.63%；年龄从 62 d 以后，点蜂缘蝽存活率

下降较快，随着年龄增加，成虫逐渐死亡。

2.5 取食大豆荚对点蜂缘蝽繁殖及期望寿命的影响

由图 4 可知，随着年龄的增长，取食大豆荚的点蜂缘蝽繁殖力首先增加，并在年龄为 44 d 达到较高值，为 4.59，然后缓慢下降，年龄为 96 d 时，繁殖力下降到 1.50。之后，在个别年龄时间，繁殖力会突然增加，最后降为 0.00。随着年龄的增加，净繁殖力呈现先上升后下降的趋

势,并在年龄为 44 d 达到最大值,为 2.33。初始卵的繁殖值与周限增长率相同,为 1.08。随着年龄和龄期的增长,点蜂缘蝽繁殖值逐渐升高,并在年龄为 41 d 和成虫阶段达到最大值,为 47.46。年龄为 0 d 的卵期期望寿命最高,为 68.08,然后随着年龄和龄期的增加,期望寿命呈现逐渐降低的趋势。

2.6 取食大豆荚点蜂缘蝽的种群参数

由表 3 可知,取食茎、叶和花的点蜂缘蝽未能发育至成虫,无法计算其种群参数。取食豆荚,点蜂缘蝽可以完成整个生命周期,其净增值率(R_0)为 55.802,内禀增长率(r)为 0.077,周限增长率(λ)为 1.081 和平均世代周期(T)为 52.400 d。

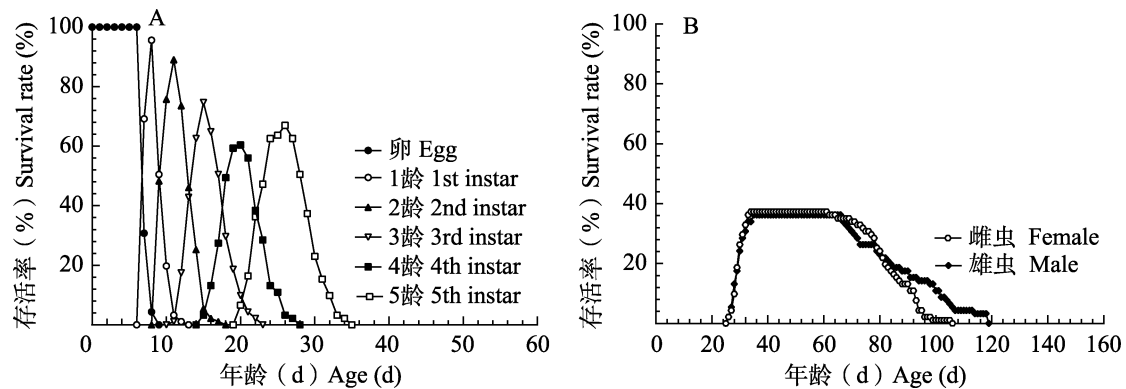


图 3 离体荚饲养的点蜂缘蝽的成虫前期 (A) 和成虫期 (B) 特征存活率 (S_{xj})

Fig. 3 Preadult stage (A) and adult stage (B) survival rate of the *Riptortus pedestris* feeding on pods (S_{xj})

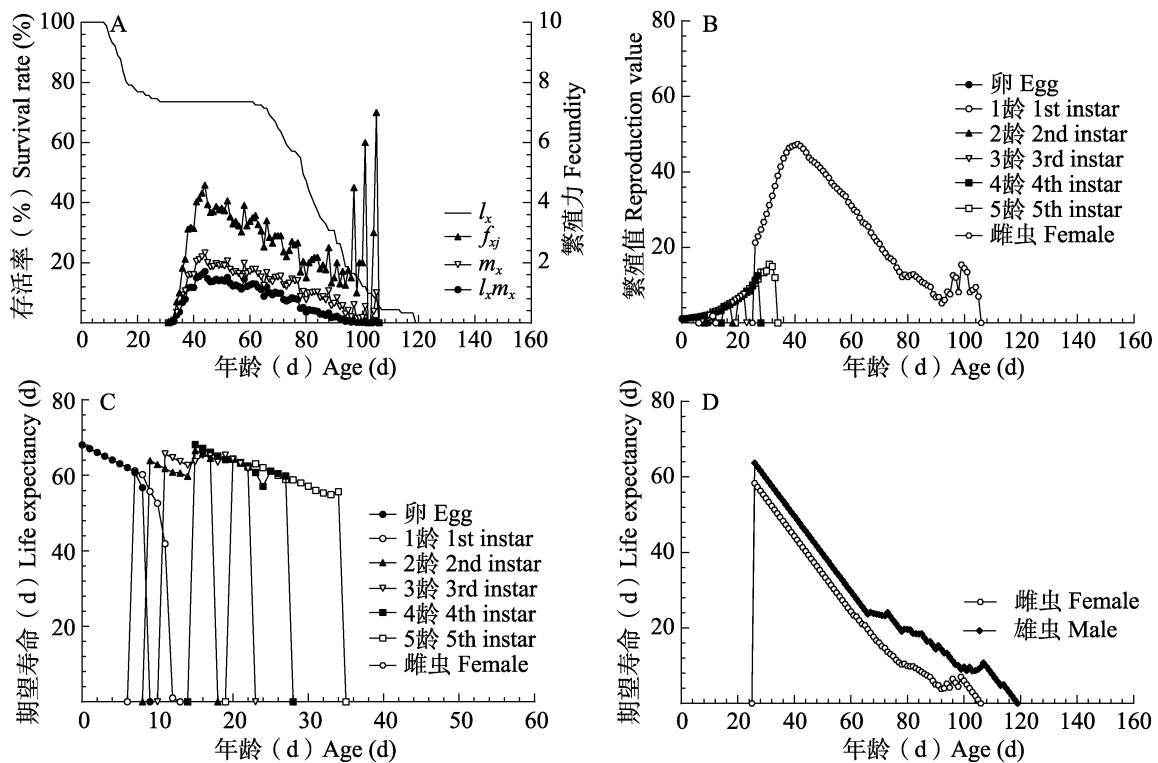


图 4 离体荚饲养下点蜂缘蝽的种群年龄-特征存活率 (l_x)、年龄-特征繁殖力 (f_{xj})、种群年龄-特征繁殖力 (m_x)、种群净增值力 ($l_x m_x$) (A)、繁殖值 (v_{xj}) (B)、成虫前期期望寿命 (e_{xj}) (C) 和成虫期期望寿命 (D)

Fig. 4 Age-specific survival rate (l_x), age-stage specific fecundity (f_{xj}), age-specific fecundity (m_x), net maternity ($l_x m_x$) (A), reproductive value (v_{xj}) (B), preadult stagelife expectancy (e_{xj}) (C), and adult life expectancy (e_{xj}) (D) of *Riptortus pedestris* feeding on pods

表 3 离体荚饲养点蜂缘蝽的种群参数
Table 3 Population parameters of the *Riptortus pedestris* feeding on isolated pods

大豆器官 Soybean tissue	净增值率 R_0 Net reproductive rate	内禀增长率 r Intrinsic rate of increase	周限增长率 λ Finite rate of increase	平均世代周期 T (d) Mean generation time (d)
荚 Pod	55.802±7.954	0.077±0.003	1.081±0.036	52.400±0.922

3 结论和讨论

本研究利用 Y 型管双向选择、叶碟法和年龄-龄期两性生命表研究了大豆离体器官对点蜂缘蝽趋性行为 and 生殖发育的影响, 相较于对照, 点蜂缘蝽对大豆离体器官表现出较强的趋性, 并且偏好取食大豆豆荚。同时, 点蜂缘蝽单独取食大豆离体器官茎、叶和花仅能发育至 2 龄若虫, 而取食豆荚可以正常发育至成虫并产卵。

昆虫可以通过嗅觉系统感知不同植物的挥发物(醇、醛、酯、萜类以及芳香族等化合物), 进而完成一系列的行为反应如取食和产卵等(李彬等, 2020)。有关该方面的研究已经在多种昆虫研究中得到了验证, 如西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (高杭等, 2014) 和黄曲条跳甲 (Xiao *et al.*, 2024) 等。本研究 Y 型管嗅觉试验表明, 相较于空气对照, 点蜂缘蝽成虫对大豆离体器官茎、叶、花和荚具有明显的选择趋性。以往研究表明, 点蜂缘蝽具有发达的嗅觉系统, 其触角包含多种感器如毛形感器、锥形感器和腔锥形感器等 (Kim *et al.*, 2016)、49 个气味结合蛋白 (Li *et al.*, 2022) 及 237 个气味受体 (Liu *et al.*, 2023), 可以帮助其感知寄主植物气味和聚集信息素 (Zhu *et al.*, 2022; Yin *et al.*, 2023)。而且, Song 等 (2023) 研究表明, 点蜂缘蝽成虫对大豆植株有明显的选择趋性, 且大豆气味复合物 (Z)-3-己烯-1-醇、(Z)-3-己烯乙酸酯、4-乙基苯甲醛和水杨酸甲酯强烈吸引成虫。因此, 推测点蜂缘蝽成虫利用嗅觉可以感知大豆离体器官挥发物, 进而完成定位选择。此外, 相较于茎和荚, 点蜂缘蝽对叶的趋性更强, 可能叶的挥发物浓度更高或其他原因, 这需要进一步验证。培养皿取食选择试验发现, 点蜂缘蝽若虫和成虫均对大豆豆荚表现较强的趋性, 选择百分率均超过 50%。

植物的营养成分和次生代谢物质是决定昆虫取食不同植物和同种植物不同部位的关键因素(沈嘉程等, 2021)。例如, 桑天牛 *Apriona germari* 成虫更喜欢取食可溶性糖含量高的构树和桑树 (沈嘉程等, 2021); 西花蓟马雌成虫取食黄瓜上部叶片的趋性明显强于下部叶片 (高杭等, 2014)。研究表明, 大豆豆荚的脂肪和总蛋白含量显著高于茎、叶和花, 更有利于点蜂缘蝽的生长发育 (田鑫月等, 2021)。同时, 利用刺吸电位技术 (Electroantennography) 发现, 点蜂缘蝽刺吸茎和叶器官主要为了获取水分, 而刺吸豆荚是为了获取营养物质 (Jin *et al.*, 2022), 表明更高的营养成分促进了点蜂缘蝽对豆荚的取食偏好性。而该结果与 Y 型管嗅觉试验结果不一致, 其原因可能是 Y 型管嗅觉试验主要反映点蜂缘蝽借助嗅觉对大豆不同器官做出行为反应, 而培养皿取食选择试验主要反映点蜂缘蝽借助嗅觉、味觉以及触觉等对大豆不同器官做出行为反应。此外, 随着虫龄的增加, 高龄若虫对荚的取食偏好性有减弱趋势, 对其他器官的选择性增加, 可能是点蜂缘蝽对植物的适应性提高导致。

除了昆虫对植物的选择性外, 植物对昆虫生长发育和繁殖的影响也是两者互作关系中重要的一环 (袁志华, 2014)。本研究表明, 点蜂缘蝽卵期和 1 龄若虫的发育历期和存活率在大豆茎、叶、花和荚 4 种处理中均无显著差异。其主要原因可能是 1 龄若虫不需要取食营养, 而仅取食水就可以发育为 2 龄若虫 (Leal *et al.*, 1995)。当点蜂缘蝽发育为 2 龄若虫时, 取食茎、叶和花均不能发育至 3 龄若虫, 数天后全部死亡。取食大豆豆荚的点蜂缘蝽可以完成若虫至成虫的发育, 并且成功交配和产卵, 扩大整个种群。这与田鑫月等 (2021) 的研究结果相似。此外, 也有研究表明, 点蜂缘蝽只有取食豆科植物种子才能完成整

个生命周期 (Kim *et al.*, 2014)。因此, 推测大豆豆荚中高含量脂肪和蛋白质有利于点蜂缘蝽的生存发育。

种群动态变化是种群生态学研究的核心问题, 对害虫种群动态的监测和预测具有重要意义 (万鹏等, 2023)。生命表是研究昆虫种群动态与害虫治理的重要工具之一, 为种群特征的解析提供了正确的方法 (齐心等, 2019)。传统的雌性-年龄生命表只记录了雌性的产卵量和寿命, 忽略了雄性个体的作用和龄期的差异, 无法精确描述种群的动态变化 (Huang and Chi, 2012)。年龄-龄期两性生命表通过对性比、发育、繁殖力和存活率等参数进行综合分析, 可以精确地描述环境因子对昆虫种群动态变化的影响, 已被广泛应用到多种昆虫研究中, 如点蜂缘蝽 (Guo *et al.*, 2023) 和草地贪夜蛾 (万鹏等, 2023)。本研究利用年龄-龄期两性生命表分析表明, 点蜂缘蝽取食大豆豆荚后, 其雌、雄虫平均寿命分别为 54.68 和 59.94 d, 平均单雌产卵量为 149.35 粒, 净增值率 (R_0) 为 55.802, 内禀增长率 (r) 为 0.077, 周限增长率 (λ) 为 1.081 和平均世代周期 (T) 为 52.400 d。以上结果从种群水平上进一步证实了大豆豆荚对点蜂缘蝽生长发育的重要性。相较于其他组织器官, 点蜂缘蝽只有取食豆荚才能完成整个生命周期, 这对于田间预测点蜂缘蝽种群动态变化和指导适宜的防控具有重要意义。

综上所述, 本研究通过 Y 型管双向选择、叶碟法以及年龄-龄期两性生命表研究, 发现点蜂缘蝽对大豆离体器官表现出明显的选择趋性, 并且嗜食大豆豆荚。点蜂缘蝽取食豆荚后, 可以完成整个生命周期。该研究进一步明确了大豆豆荚是点蜂缘蝽刺吸为害的主要器官, 对指导田间调查和防控具有实际价值。在田间进行虫情监测时, 应重点调查点蜂缘蝽喜食的豆荚部位; 在田间防控时, 应在大豆开花嫩荚期开始施药, 间隔 10-15 d, 连续施药 2-3 次, 可显著降低点蜂缘蝽对豆荚的危害。

参考文献 (References)

Chi H, Fu JW, You MS, 2019. Age-stage, two-sex life table and its

application in population ecology and integrated pest management. *Acta Entomologica Sinica*, 62(2): 255–262. [齐心, 傅建伟, 尤民生, 2019. 年龄-龄期两性生命表及其在种群生态学与害虫综合治理中的应用. 昆虫学报, 62(2): 255–262.]

Chi H, 1988. Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environmental Entomology*, 17(1): 26–34.

Chi H, Liu H, 1985. Two new methods for the study of insect population ecology. *Academia Sinica*, 24(2): 225–240.

Chi H, Su HY, 2006. Age-stage, two-sex life tables of *Aphidius gifuensis* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) and its host *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) with mathematical proof of the relationship between female fecundity and the net reproductive rate. *Environmental Entomology*, 35(1): 10–21.

Gao H, Zhi JR, Wu CH, 2014. Preference of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) to different positions of host plant. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 33(2): 1–4. [高杭, 郑军锐, 吴春海, 2014. 西花蓟马对寄主不同部位的选择性. 山地农业生物学报, 33(2): 1–4.]

Goodman D, 1982. Optimal life histories, optimal notation, and the value of reproductive value. *The American Naturalist*, 119(6): 803–823.

Guo JL, An JJ, Chang H, Li YF, Dang ZH, Wu C, Gao ZL, 2023. The lethal and sublethal effects of lambda-cyhalothrin and emamectin benzoate on the soybean pest *Riptortus pedestris* (Fabricius). *Toxics*, 11(12): 971.

Guo JL, Li YF, An JJ, Dang ZH, Wei HL, Gao ZL, 2023. The laboratory rearing technique for the experimental population of *Riptortus pedestris* Fabricius. *Tianjin Agricultural Sciences*, 29(S1): 111–115. [郭江龙, 李耀发, 安静杰, 党志红, 魏洪亮, 高占林, 2023. 点蜂缘蝽试验种群的室内饲养技术. 天津农业科学, 29(S1): 111–115.]

Guo TT, Men XY, Yu Y, Guo WX, Zhang SC, Sun TL, Li LL, 2018. Relationship between the adaptability of *Athetis lepigone* (Lepidoptera: Noctuidae) and the contents of nutrients and secondary metabolites in maize seedlings. *Acta Entomologica Sinica*, 61(8): 984–990. [郭婷婷, 门兴元, 于毅, 郭文秀, 张思聪, 孙廷林, 李丽莉, 2018. 二点委夜蛾适应性性与玉米苗营养物质和次生代谢物质含量的关系. 昆虫学报, 61(8): 984–990.]

Huang YB, Chi H, 2012. Age-stage, two-sex life tables of *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) (Diptera: Tephritidae) with a discussion on the problem of applying female age-specific life tables to insect populations. *Insect Science*, 19(2): 263–273.

Jin Y, Zhang WD, Dong YM, Xia A, 2022. Feeding behavior of *Riptortus pedestris* (Fabricius) on soybean: Electrical penetration graph analysis and histological investigations. *Insects*, 13(6): 511.

Kim E, Lim UT, 2012. Fruits of apple and sweet persimmon are not essential food sources for *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae) which causes fruit-spotting. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 15(2): 203–206.

Kim E, Park CG, Lim UT, 2014. Evaluation of three plant seeds as potential pre-season diets for *Riptortus pedestris*. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 17(3): 521–524.

Kim J, Park KC, Roh HS, Kim J, Oh HW, Kim JA, Park CG, 2016. Morphology and distribution of antennal sensilla of the bean bug

- Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae). *Microscopy Research Technique*, 79(6): 501–511.
- Leal WS, Higuchi H, Mizutani N, Nakamori H, Kadosawa T, Ono M, 1995. Multifunctional communication in *Riptortus clavatus* (Heteroptera: Alydidae): Conspecific nymphs and egg parasitoid *Ooencyrtus nezarae* use the same adult attractant pheromone as chemical cue. *Journal Chemical Ecology*, 21(7): 973–985.
- Li B, Zhang S, Wang CR, Wang GR, Liu Y, 2020. Cloning and functional characterization of eight odorant receptor genes in *Apolygus lucorum* (Hemiptera: Miridae). *Acta Entomologica Sinica*, 63(9): 1048–1058. [李彬, 张赛, 王晨蕊, 王桂荣, 刘杨, 2020. 绿盲蝽八个普通气味受体基因的克隆及功能鉴定. 昆虫学报, 63(9): 1048–1058.]
- Li JB, Yin MZ, Yao WC, Ma S, Dewar Y, Liu XZ, Wang YY, Wang CW, Li BP, Zhu XY, 2022. Genome-wide analysis of odorant-binding proteins and chemosensory proteins in the bean bug *Riptortus pedestris*. *Frontiers in Physiology*, 14(13): 949607.
- Li K, Zhang XX, Guo JQ, Penn H, Wu TT, Li L, Jiang H, Chang LD, Wu CX, Han TF, 2019. Feeding of *Riptortus pedestris* on soybean plants, the primary cause of soybean staygreen syndrome in the Huang-Huai-Hai River Basin. *The Crop Journal*, 7(3): 360–367.
- Li WJ, Gao Y, Hu YL, Chen JH, Zhang JP, Shi SS, 2021. Field cage assessment of feeding damage by *Riptortus pedestris* on soybeans in China. *Insects*, 12(3): 255.
- Liu PJ, Guo JL, Wei HY, Feng LK, Gao ZL, Zhang T, 2023. Genome-wide identification of candidate chemosensory receptors in the bean bug *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae) and the functional verification of its odorant receptor co-receptor (Orco) in recognizing aggregation pheromone. *Frontiers in Physiology*, 14: 1224009.
- Mainali BP, Kim HJ, Yoon YN, Oh IS, Do Bae S, 2014. Evaluation of different leguminous seeds as food sources for the bean bug *Riptortus pedestris*. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 17(2): 115–117.
- Shen JC, Liao WC, Luo P, Wang GL, 2021. A correlation analysis of host selection of *Apriona germari* (Coleoptera: Cerambycidae) with content of plant nutrition component and secondary metabolites. *Acta Agriculture Universitatis Jiangxiensis*, 43(4): 783–791. [沈嘉程, 廖为财, 罗鹏, 王广利, 2021. 桑天牛寄主选择及其与植物营养和次生代谢物质含量的相关性分析. 江西农业大学学报, 43(4): 783–791.]
- Song JY, Park YH, Kim T, Park SK, Jun TH, Kim SG, 2023. A push-pull strategy for controlling *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae) using host plant semiochemicals. *Animal Cells and Systems*, 27(1): 287–296.
- Tang HY, Xie JX, Liu JT, Khashaveh A, Liu XX, Yi CQ, Zhao DY, He L, Sun Y, Zhang YJ, 2023. Odorant-binding protein *HvarOBP5* in ladybird *Hippodamia variegata* regulates the perception of semiochemicals from preys and habitat plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(2): 1067–1076.
- Tang X, Lü BQ, Tang JH, Lu H, Lin NF, Wang XT, Chen YY, 2023. Feeding and oviposition preferences, and fitness, of *Spodoptera frugiperda* with respect to four important crops in the Nanfan area. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 60(4): 1116–1124. [唐雪, 吕宝乾, 唐继洪, 卢辉, 林南方, 王秀婷, 陈玉莹, 2023. 草地贪夜蛾对四种重要南繁作物取食与产卵选择及适合度研究. 应用昆虫学报, 60(4): 1116–1124.]
- Tian XY, Hu YL, Wang ZJ, Li WB, Sun Y, Gao Y, Shi SS, 2021. Effects of soybean organs in Vitro feeding on the growth and development of *Riptortus pedestris* Nymphs. *Soybean Science*, 40(3): 398–402. [田鑫月, 胡英露, 王自杰, 李文博, 孙烨, 高宇, 史树森, 2021. 大豆离体器官饲养对点蜂缘蝽若虫生长发育的影响. 大豆科学, 40(3): 398–402.]
- Tuan SJ, Lee CC, Chi H, 2014. Population and damage projection of *Spodoptera litura* (F.) on peanuts (*Arachis hypogaea* L.) under different conditions using the age-stage, two-sex life table. *Pest Management Science*, 70(5): 805–813.
- Wan P, Lü BQ, Lu H, Tang JH, Qiu HY, Zhang QK, Li JH, 2023. Comparison of the life table of *Spodoptera frugiperda* populations kept under either a constant indoor, or a variable outdoor, temperature. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 60(4): 1141–1147. [万鹏, 吕宝乾, 卢辉, 唐继洪, 邱海燕, 张起恺, 李金花, 2023. 在室内恒温 and 室外变温下的草地贪夜蛾种群生命表比. 应用昆虫学报, 60(4): 1141–1147.]
- Xie H, Chen LJ, Han J, Wang C, 2016. Damage characteristics and control methods of *Riptortus Pedestris* in soybean. *Soybean Science and Technology*, 2016(6): 11–13. [谢皓, 陈立军, 韩俊, 王程, 2016. 大豆害虫点蜂缘蝽的危害特点与防治方法. 大豆科技, 2016(6): 11–13.]
- Xiao Y, Sun L, Wu YH, Wang Q, Zhang YJ, Jing XF, Li ZY, 2024. The larvae of *Phyllotreta striolata* share the same olfactory cues for locating Brassicaceae plant with conspecific adults. *Journal of Pest Science*, 97(2): 979–992.
- Yang K, Wang CZ, 2023. Progress in insect gustatory research and the application of related principles to pest control. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 60(2): 486–498. [杨科, 王琛柱, 2023. 昆虫味觉研究进展及相关原理在害虫防治中的应用. 应用昆虫学报, 60(2): 486–498.]
- Yin MZ, Li JQ, Liu Q, Ma S, Hu ZZ, Liu XZ, Wang CW, Yao WC, Zhu XY, Wang YY, Li JB, Zhang YN, 2023. Binding properties of chemosensory protein 12 in *Riptortus pedestris* to aggregation pheromone (E)-2-hexenyl (Z)-3-hexenoate. *Pesticide Biochemistry Physiology*, 194: 105513.
- Yu HC, Ning JM, Chen JH, Song XD, Wang CR, Li SY, 2022. Effects of different plants and nutrients on growing development of *Loxostege verticalis* and its feeding preference. *Journal of Northeast Agricultural University*, 53(8): 18–24. [于洪春, 宁继明, 陈佳欢, 宋显东, 王春荣, 李松媛, 2022. 取食偏好性和营养对黄草地螟生长发育的影响. 东北农业大学学报, 53(8): 18–24.]
- Yuan ZH, 2014. Study on the host plant species and preference of the asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée). Master dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [袁志华, 2014. 亚洲玉米螟寄主种类及其对寄主植物的选择性研究. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院.]
- Zhu XY, Li JB, Liu J, Dewar Y, Zhang H, Zhang HR, Zhang D, Zhang XY, Wan ZW, Yin MZ, Li XM, Zhang YN, 2022. Binding properties of odorant-binding protein 4 from bean bug *Riptortus pedestris* to soybean volatiles. *Insect Molecular Biology*, 31(6): 760–771.