

夏至草对天敌昆虫控害能力的促进作用*

吴长兵^{1,2**} 刘飞宇¹ 刘俊秀² 邸宁² 王甦² 金振宇^{1***} 徐庆宣^{2***}

(1. 长江大学农学院, 湖北省病虫害预警与调控工程技术研究中心, 荆州 434023;

2. 北京市农林科学院植物保护研究所, 北京 100097)

摘要 【目的】夏至草 *Lagopsis supine* 药用价值高及花期长, 且广泛分布于我国华北、东北、西南和西北等地区。果园种植夏至草可以增加天敌昆虫对靶标害虫的防控效果, 但具体增效控害机理尚未明确。通过研究夏至草花对天敌昆虫的存活时间以及捕食(寄生)能力影响, 以明确夏至草对天敌昆虫作用的生态作用机制。【方法】本文选取果园生态系统中常见的捕食性天敌东亚小花蝽 *Orius sauteri* 和寄生性天敌松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi*, 室内分别设置 5 朵和 20 朵夏至草花处理, 以未用夏至草花为对照, 分析不同数量的夏至草花朵对两种天敌昆虫成虫寿命、产卵量以及捕食和寄生能力的影响。【结果】与对照相比, 20 朵夏至草花处理可以显著延长东亚小花蝽成虫的寿命 ($t=2.79$, $df=66.063$, $P=0.001$), 并显著提高产卵量 ($F_{2,14}=5.14$, $P=0.024$), 但对东亚小花蝽捕食量无显著影响 ($t=1.28$, $df=5.554$, $P=0.155$); 5 朵和 20 朵夏至草花处理的松毛虫赤眼蜂成虫存活时间均显著高于对照组 ($t=2.31$, $df=68.052$, $P=0.014$; $t=4.09$, $df=57.667$, $P=0.006$)。同时, 20 朵夏至草花处理还可以显著提高松毛虫赤眼蜂的寄生量 ($F_{2,14}=4.69$, $P=0.03$), 平均寄生量为 59.4 粒/雌。【结论】果园种植夏至草涵养天敌昆虫, 延长天敌昆虫成虫寿命增加捕食和寄生时间, 提升捕食性天敌产卵量和寄生性天敌的寄生能力, 促进了天敌对害虫的抑制作用。

关键词 夏至草; 生草; 功能植物; 东亚小花蝽; 松毛虫赤眼蜂

Role of *Lagopsis supine* in conserving the arthropod natural enemies of pests

WU Chang-Bing^{1,2**} LIU Fei-Yu¹ LIU Jun-Xiu² DI Ning² WANG Su²
JIN Zhen-Yu^{1***} XU Qing-Xuan^{2***}

(1. Hubei Engineering Research Center for Pest Forewarning and Management, College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou 434023, China; 2. Institute of Plant Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract 【Objectives】 *Lagopsis supine* has high medicinal value, a long flowering period and a wide distribution in northern, northeast, southwest and northwest China. In orchards, *L. supine* can increase the control exerted by natural enemy insects on target pests. However, the specific mechanism responsible for this effect has not yet been clarified. We investigated the effect of *L. supine* flowers on the survival time and predatory (or parasitic) ability of natural enemy insects to see if this might explain the ecological effect of this plant. 【Methods】 We selected *Orius sauteri* and *Trichogramma dendrolimi*, a predatory and parasitic insect, respectively, both of which are common in orchard ecosystems. The treatment groups were either 5 or 20 *L. supine* flowers and flowers without the two study species were the control group. The lifespan and predation (or parasitic) ability of the two natural enemy insects were quantitatively assessed in the laboratory. 【Results】 Compared with the control, the 20-flower treatment significantly prolonged the lifespan of *O. sauteri*, ($t=2.79$, $df=66.063$, $P=0.001$) and significantly ($F_{2,14}=5.14$, $P=0.024$) increased the number of eggs laid by this species. However, there was no significant effect on predation ability ($t=1.28$, $df=5.554$, $P=0.155$). With respect to *T. dendrolimi*, both the five and 20 flower treatments, significantly prolonged the lifespan of this parasitic wasp ($t=2.31$, $df=68.052$, $P=0.014$; $t=4.09$, $df=57.667$, $P=0.006$). In

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划 (2019YFD1002102); 广东省重点领域研发计划项目 (2020B0202010003); 北京市农林科学院青年科研基金 (QNJJ201917; QNJJ202118)

**第一作者 First author, E-mail: wucb0313@163.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: ahk_731@163.com; xuqxfarmer@126.com

收稿日期 Received: 2022-01-05; 接受日期 Accepted: 2022-02-15

addition, the parasitic ability of *T. dendrolimi* was significantly higher ($F_{2,14}=4.69$, $P=0.03$) in the 20-flower treatment group, with an average parasitism rate of 63.33 eggs per female. **[Conclusion]** *L. supine* in orchards conserves natural enemy insects and enhances the control they exert on pests. The underlying mechanism appears to be the prolongation of the lifespan of predatory and parasitic insects, thereby increasing the duration of predation or parasitism. *L. supine* may also improve egg production or parasitic ability.

Key words *Lagopsis supine*; grass growing; functional plant; *Orius sauteri*; *Trichogramma dendrolimi*

天敌昆虫是一种有效的害虫生物防治措施,在保证农产品产量安全与品质方面发挥着重要作用(张帆等, 2015; Zang *et al.*, 2021)。如异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 能够持续控制甜椒温室中桃蚜种群密度(李姝等, 2014), 东亚小花蝽 *Orius sauteri* 可用于控制桃园蚜虫的危害(邢秀霞等, 2010), 松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* 可以降低园区内害虫的蛀果率等(许建军等, 2014)。但是, 人工繁殖释放的天敌昆虫由于食物和繁育场所等资源不足而导致其定殖控害能力差, 且需要多次释放, 使防治成本和生态风险增加(陈学新等, 2014)。而保护型生物防治是利用功能植物的生境管理措施, 不仅丰富了农业景观多样性, 还为天敌昆虫提供传粉、食物、庇护和转移服务, 从而实现害虫的可持续控制(赵紫华等, 2013; Gurr *et al.*, 2017; Liang *et al.*, 2022)。

功能植物是一类在农林生态系统中发挥生物控害或传粉等生态功能的植物, 可为天敌提供营养补充, 从而维持天敌昆虫种群数量, 已广泛用于果园、温室及大田害虫的生物防治(丁瑞丰等, 2008; Zhao *et al.*, 2017; Jaworski *et al.*, 2019)。如孔雀草 *Tagetes patula* 和万寿菊 *Tagetes erectas* 等植物的组合生草模式可以增加异色瓢虫和小花蝽等种群总量(孔凡来等, 2020)。已有研究表明, 功能植物不仅可以提高天敌昆虫的寿命, 还可增加其繁殖力以及飞行能力(朱平阳等, 2012)。玉米花粉能明显延长寄生性天敌稻虱缨小蜂 *Anagrus nilaparvatae* 的寿命以及提高对褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 卵的寄生力, 芝麻花 *Sesamum indicum* 也可以提高稻螟赤眼蜂 *Trichogramma japonicum* 的扩散能力(郑许松等, 2003; 田俊策等, 2018)。

果园生草是在果树行间或全园种植草本植

物作为覆盖物的一种果园管理方法, 分为人工生草和保留自然生草。夏至草 *Lagopsis supine*, 唇形科夏至草属, 在我国东北、华北、华东及甘肃、云南、四川、贵州和湖北等地广泛分布(康文艺等, 2010)。夏至草不仅可以全草入药, 具有活血祛瘀等功能(张静等, 2015), 而且是华北果园杂草的优势种, 可以起到保护和增殖节肢动物天敌的作用(于毅等, 1998; 卢增斌等, 2016)。董民等(2011)在桃园种植夏至草, 调查结果显示桃园内天敌群落均匀度指数和益害比显著升高。但是, 夏至草对天敌昆虫的增效控害能力的作用方式尚未明确。

为明确夏至草对天敌昆虫增效的生态学机制, 本研究选择果园中具有代表性的捕食性天敌东亚小花蝽和寄生性天敌松毛虫赤眼蜂作为研究对象, 对夏至草增效天敌昆虫控害能力的生物和生态学机制进行了初探。为开发夏至草进行果园生草栽培和增效天敌昆虫控害提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试昆虫 供试的东亚小花蝽、松毛虫赤眼蜂与桃蚜均来自北京市农林科学院植物保护研究所实验室饲养种群。东亚小花蝽的饲养方法参考陈亚丰等(2021), 采用经紫外光照射 30 min 杀胚处理过的新鲜米蛾卵饲养, 扁豆作为产卵基质。松毛虫赤眼蜂以柞蚕卵作为繁育寄主, 桃蚜以白萝卜苗作为寄主植物, 室内多代繁殖。所有昆虫均饲养在人工气候箱(三洋, MH351)中, 饲养温度为 $(26 \pm 1)^\circ\text{C}$, 相对湿度为 $60\% \pm 5\%$, 光周期为 16L:8D, 光照强度 800 lx)。

1.1.2 供试植物 夏至草来自北京市昌平区流村镇试验桃园, 4-6 月期间, 采集初花期的夏至

草室内盆栽, 待花盛开后用于试验。

1.2 夏至草对东亚小花蝽和松毛虫赤眼蜂的增效作用

1.2.1 夏至草对东亚小花蝽的存活时间、捕食量和产卵量的影响 挑选刚羽化的东亚小花蝽饥饿处理 4 h 后放置于 50 mL 离心管中, 离心管底部放置湿润的脱脂棉, 每个管内放入单头东亚小花蝽, 用 200 目纱网封住管口。处理组的离心管内分别加入 5 朵和 20 朵新鲜盛开的夏至草花, 对照组的离心管内未放夏至草花, 置于相对湿度为 $75\% \pm 5\%$, 温度为 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$, 光周期为 16L:8D 的人工气候培养箱中, 每天检查并记录各处理东亚小花蝽存活情况, 直至其全部死亡, 每个处理重复 40 次。

将单头刚羽化的东亚小花蝽放入塑料盒中 (底部直径 5.5 cm, 开口直径 7.5 cm, 高 4.0 cm), 底部放有湿润的脱脂棉。处理组的盒中分别加入 5 朵和 20 朵夏至草花, 对照组的盒中不放夏至草花, 然后置于人工气候箱内, 饲养条件设置同上, 每天更换夏至草花, 5 d 后将东亚小花蝽分别放置于预先加入 50 头 3 日龄桃蚜若虫和白萝卜苗的培养皿中, 白萝卜苗的根部用湿润脱脂棉包裹, 24 h 后统计桃蚜数量, 每个处理重复 5 次。

选取刚羽化的东亚小花蝽雌雄虫各 1 头置于 50 mL 离心管中, 待成虫交配 6 h 后将东亚小花蝽雌虫取出并置于放置夏至花的塑料盒中, 设置 5 朵和 20 朵夏至草花两个处理, (每 24 h 更换一次夏至草花), 以不放夏至草花为对照, 所有处理中放入扁豆作为产卵基质, 置于人工气候箱内培养, 人工气候箱条件设置同上。统计 5 d 内东亚小花蝽在扁豆和夏至草花上的产卵总量, 每个处理重复 5 次。

1.2.2 夏至草对松毛虫赤眼蜂存活时间和寄生量的影响 将刚羽化的松毛虫赤眼蜂 1 头经饥饿处理 4 h 后置于 50 mL 离心管中, 离心管底部放置湿润的脱脂棉, 处理组的离心管内分别加入 5 朵和 20 朵新鲜盛开的夏至草花, 以未放夏至草花的为对照, 置于相对湿度为 $75\% \pm 5\%$, 温度为 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$, 光周期为 16L:8D 的人工气候培养箱中, 每天检查记录各处理松毛虫赤眼蜂的

存活情况, 直至其全部死亡。每个处理重复 40 次。

将刚羽化的松毛虫赤眼蜂经饥饿处理 4 h 后置于 50 mL 离心管中, 每个管内放入单头雄性松毛虫赤眼蜂, 用 200 目纱网封住管口。处理组的离心管管内分别加入 5 朵和 20 朵新鲜盛开的夏至草花, 对照组的离心管内未放夏至草花, 置于相对湿度为 $75\% \pm 5\%$, 温度为 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$, 光周期为 16L:8D 的人工气候箱中培养 24 h。将单头雄性松毛虫赤眼蜂引入雌性松毛虫赤眼蜂的离心管中, 并放入一张灭活的米蛾卵卡 (长 $\times$ 宽=2.5 cm $\times$ 1.5 cm), 继续放回人工气候箱中, 24 h 后取出米蛾卵卡并统计被寄生数量, 每个处理重复 5 次。

1.3 数据处理与分析

对获得的数据采用 SPSS 23.0 软件进行分析, 采用软件 SigmaPlot 10.0 绘图, 数据以平均值 $\pm$ 标准误表示。采用 *t*-检验比较各处理组之间东亚小花蝽平均寿命、捕食量和松毛虫赤眼蜂平均寿命的差异显著性。以不同数量夏至草花作为处理因子, 对东亚小花蝽产卵量和松毛虫赤眼蜂寄生量进行单因素方差分析, 采用 Duncan's 检验法比较不同处理间差异显著性 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 夏至草对东亚小花蝽的增效作用

2.1.1 夏至草对东亚小花蝽寿命的影响 夏至草对东亚小花蝽存活增效作用发生在处理第 5 天后 (图 1: A)。随着夏至草花数量增多, 东亚小花蝽平均寿命显著提升 (图 1: B)。与对照相比, 放 5 朵夏至草花时, 对东亚小花蝽的平均寿命影响不显著 ($t=0.98$, $df=76.727$, $P=0.46$), 而加入 20 朵夏至草花时, 能显著延长东亚小花蝽的平均寿命 ($t=2.79$, $df=66.063$, $P=0.001$)。

2.1.2 夏至草对东亚小花蝽捕食量的影响 与对照相比, 加入 5 朵夏至草花 ($t=0.69$, $df=7.888$, $P=0.81$) 和 20 朵夏至草花 ($t=1.28$, $df=5.554$, $P=0.155$) 对羽化后 5 d 的东亚小花蝽捕食桃蚜的数量影响未达到显著水平 (图 2)。因此夏至草花对东亚小花蝽的捕食量无显著影响。

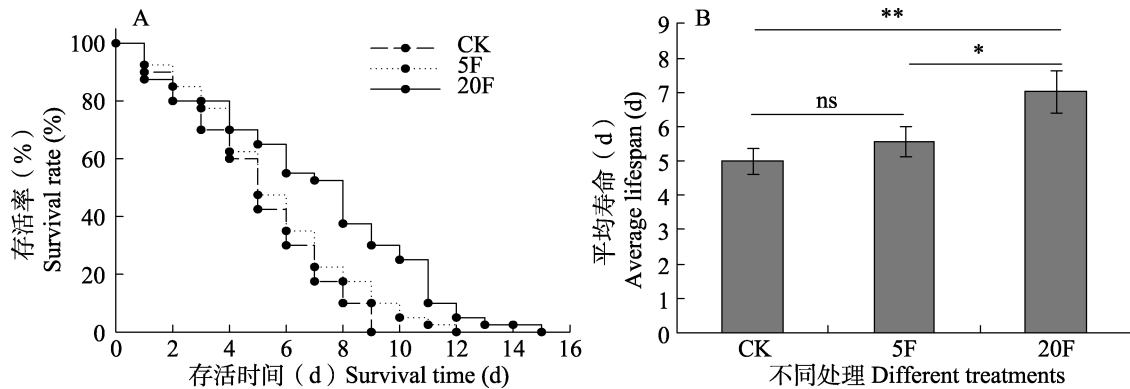


图 1 夏至草花对东亚小花蝽存活率 (A) 和平均寿命 (B) 的影响

Fig. 1 Effects of *Lagopsis supine* flowers on survival rate (A) and average lifespan (B) of *Orius sauteri*

图中数据为平均值±标准误, ns 表示不同数量夏至草花处理下东亚小花蝽平均存活时间无显著差异 ($P>0.05$); *表示不同数量夏至草花处理下东亚小花蝽平均存活时间在 0.05 水平上差异显著; **表示不同数量夏至草花处理下东亚小花蝽平均存活时间在 0.01 水平上差异极显著 (t -检验)。5F: 5 朵夏至草花; 20F: 20 朵夏至草花。下图同。

Data are mean $\pm$ SE, ns indicates no significant difference in the average lifespan of *O. sauteri* under different number of *L. supine* flowers ($P>0.05$); * indicates that the average lifespan of *O. sauteri* is significant differences ($P<0.05$) under different number of *L. supine* flowers treatments; ** indicates that the average lifespan of *O. sauteri* is significant differences ($P<0.01$) under different number of *L. supine* flowers treatments by t -test. 5F: Five *L. supine* flowers; 20F: 20 *L. supine* flowers. The same as below.

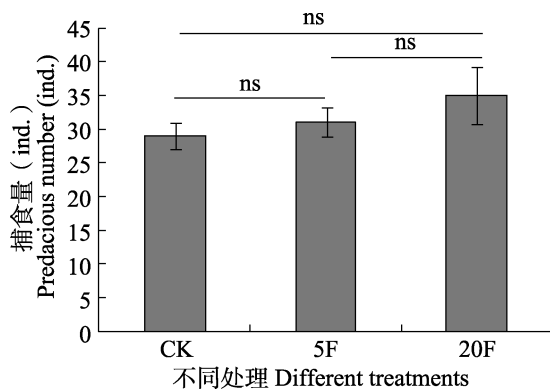


图 2 夏至草花对东亚小花蝽捕食量的影响

Fig. 2 Effects of *Lagopsis supine* flowers on predation of *Orius sauteri*

图中数据为平均值±标准误, ns 表示不同数量夏至草花处理下东亚小花蝽捕食量无显著差异 ($P>0.05$, t -检验)。

Data are mean $\pm$ SE, and ns indicate no significant difference in the predacious number of *O. sauteri* under different number of *L. supine* flowers ($P>0.05$, t -test).

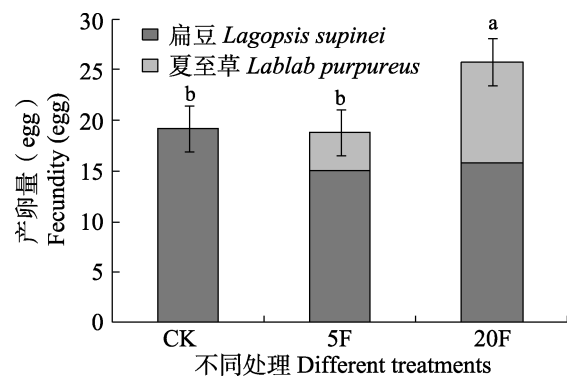


图 3 夏至草花对东亚小花蝽的产卵量的影响

Fig. 3 Effects of *Lagopsis supine* flowers on the egg production of *Orius sauteri*

图中数据为平均值±标准误, 柱上标有不同的小写字母表示不同数量夏至草花处理下东亚小花蝽产卵量在 0.05 水平上差异显著 (Duncan's 多重检验法)。

Data are mean $\pm$ SE, and histograms with different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$) in the fecundity of *O. sauteri* under different number of *L. supine* flowers by Duncan's multiple range test.

2.1.3 夏至草对东亚小花蝽产卵量的影响 设置 20 朵夏至草花处理可以显著提高东亚小花蝽羽化后 5 d 内的总产卵量 ($F_{2,14}=5.14$, $P=0.024$), 5 d 内平均总产卵量为 (25.80 ± 1.83) 粒。而设置 5 朵夏至草花处理, 对其产卵量无显著影响 (图 3)。同时, 我们发现夏至草也适合东亚小花蝽产卵。

2.2 夏至草对松毛虫赤眼蜂的增效作用

2.2.1 夏至草对松毛虫赤眼蜂存活时间的影响 夏至草花数量的增多提升了松毛虫赤眼蜂的存活率, 增加了松毛虫赤眼蜂的存活时间。与不放夏至草花的对照相比, 5 朵夏至草花 ($t=2.31$,

$df=68.052$, $P=0.014$) 和 20 朵夏至草花处理 ($t=4.09$, $df=57.667$, $P=0.006$) 均显著延长了松毛虫赤眼蜂的寿命, 其最长存活时间和最高平均寿命分别为 168 h 和 (57.90 ± 5.43)h (图 4: A, B)。

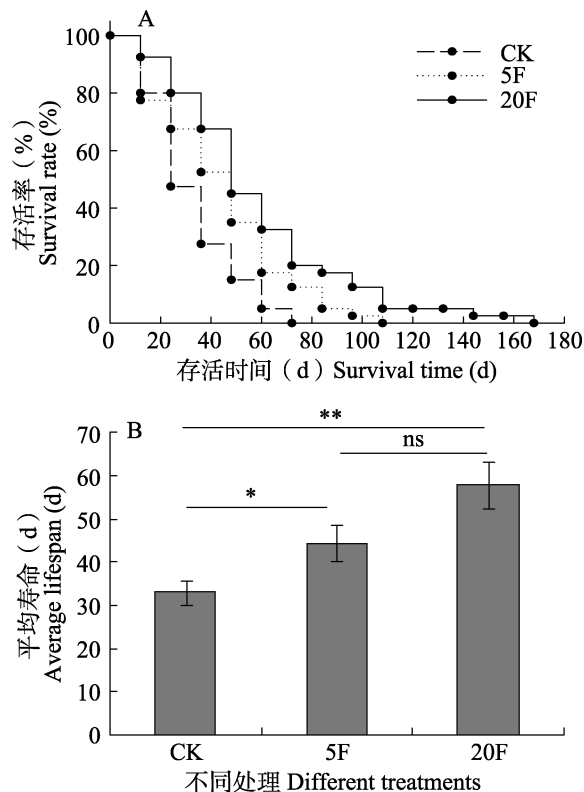


图 4 夏至草花对松毛虫赤眼蜂存活率 (A) 和平均寿命 (B) 的影响

Fig. 4 Effects of *Lagopsis supine* flowers on survival rate (A) and average lifespan (B) of *Trichogramma dendrolimi*

图中数据为平均值 $\pm$ 标准误, ns 表示不同数量夏至草花处理下松毛虫赤眼蜂平均寿命无显著差异 ($P>0.05$); *表示不同数量夏至草花处理下松毛虫赤眼蜂平均存活时间在 0.05 水平上差异显著; **表示不同数量夏至草花处理下松毛虫赤眼蜂平均存活时间在 0.01 水平上差异极显著 (t -检验)。

Data are mean $\pm$ SE, ns indicates no significant difference in the average lifespan of *T. dendrolimi* under different number of *L. supine* flowers ($P>0.05$); * indicates that the average lifespan of *T. dendrolimi* is significant differences ($P<0.05$) under different number of *L. supine* flowers treatments; ** indicates that the average lifespan of *T. dendrolimi* is significant differences ($P<0.01$) under different number of *L. supine* flowers treatments by t -test.

2.2.2 夏至草对松毛虫赤眼蜂寄生量的影响
与不放夏至草花相比, 5 朵夏至草花处理时, 对

松毛虫赤眼蜂寄生米蛾卵的数量影响并不显著, 而当 20 朵夏至草花伴存时, 可以显著提升松毛虫赤眼蜂的寄生量, 单雌的平均寄生量可达 (59.4 ± 2.66) 粒 ($F_{2,14}=4.685$, $P=0.03$) (图 5)。

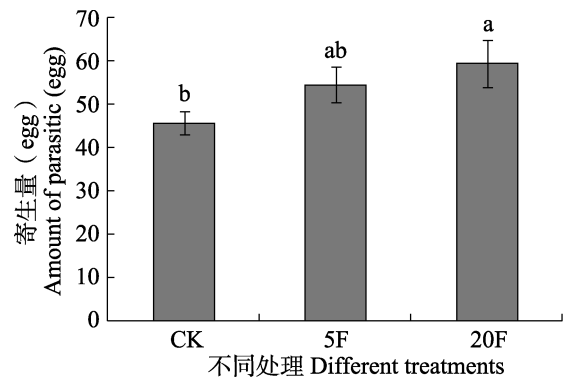


图 5 夏至草花对松毛虫赤眼蜂的寄生量影响

Fig. 5 Effects of *Lagopsis supine* flowers on parasitism of *Trichogramma dendrolimi*

图中数据为平均值 $\pm$ 标准误, 柱上标有不同的小写字母表示不同数量夏至草花处理下松毛虫赤眼蜂寄生量在 0.05 水平上差异显著 (Duncan's 多重检验法)。

Data are mean $\pm$ SE, and histograms with different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$) in the parasitic amount of *T. dendrolimi* under different number of *L. supine* flowers by Duncan's multiple range test.

3 讨论与结论

夏至草花可以延长东亚小花蝽和松毛虫赤眼蜂的存活时间。当给予蔗糖溶液时, 东亚小花蝽的平均存活时间达 8.7 d (Maeda *et al.*, 2002), 本研究中东亚小花蝽取食 5 朵夏至草花和 20 朵夏至草花的平均存活时间为 (5.58 ± 0.44) d 和 (7.03 ± 0.61) d, 推测夏至草花因提供糖资源而延长东亚小花蝽存活时间。夏至草花还可以增强松毛虫赤眼蜂的寄生能力, 其寄生量与每天提供 10% 蜂蜜水相比, 7 d 的累计寄生量相差不大 (霍梁霄等, 2021), 这可能与花中营养物质含量或利用效率有关。

功能植物可以增加天敌昆虫的控害能力, 也可以提高天敌昆虫的繁殖力和种群数量 (汪庚伟等, 2014; 杨泉峰等, 2020)。如蛇床 *Cnidium monnieri*、苣荬菜 *Sonchus arvensis* 涵养瓢虫和食

蚜蝇等天敌昆虫(杨泉峰等, 2018; 苏文雯等, 2020), 金盏菊 *Calendula officinalis* 可以增加东亚小花蝽的种群密度, 从而增强对害虫的控制作用(Zhao *et al.*, 2017)。植物中的糖资源可促进寄生蜂的产卵(Segoli and Rosenheim, 2013), 如荞麦 *Fagopyrum esculentum* 及甘草 *Glycyrrhiza uralensis* 等植物能增加天敌昆虫寄生蜂的产卵量, 芝麻花和酢浆草 *Oxalis corniculata* 可以增强螟黄赤眼蜂的寄生力和繁殖力(Nafziger and Fadamiro, 2011; Zhu *et al.*, 2015; 赵燕燕等, 2017)。已有研究表明为天敌昆虫提供花蜜等富含碳水化合物的营养物质可以促进其繁殖和搜寻能力(汪庚伟等, 2014)。夏至草可为多种天敌(如东亚小花蝽和龟纹瓢虫 *Propylea japonica* 等)提供生存所需的花粉、花蜜和猎物(董民等, 2011), 而有关夏至草花蜜中对天敌起支持作用所需的碳水化合物种类和含量有待进一步明确。

此外, 功能植物对天敌的扩散能力具有提升作用(Zhu *et al.*, 2012), 天敌的扩散距离对生物防治效果也产生影响(Zhang *et al.*, 2021)。寄生蜂仅需 1 次的取食即可有效的促进其生态适应性, 如取食过外界蜜源的红盘绒茧蜂 *Cotesia rubecula*, 其搜寻能力显著提高(Siekmann *et al.*, 2001)。另外, 植物释放的挥发性物质可提升天敌转移能力, 对天敌起到吸引作用(Sharma *et al.*, 2019), 如芝麻花释放的苯乙醛等促进了稻虱缨小蜂 *A. nilaparvatae* 在水稻与种花田埂之间的迁移(余航, 2016)。本文仅研究夏至草对松毛虫赤眼蜂寿命和寄生能力的影响, 未涉及到夏至草对松毛虫赤眼蜂飞行扩散能力的作用效果, 研究表明夏至草中挥发性成分包括 1-石竹烯、壬醛和苯乙醛等 21 种物质(刘梦菲等, 2018), 因此, 为明确夏至草中的挥发性成分是否能提升松毛虫赤眼蜂的扩散率, 下一步将研究夏至草挥发物对松毛虫赤眼蜂扩散能力的影响。

植物花带是功能植物田间应用的成功模式之一(Li *et al.*, 2021)。如开花的香雪球 *Lobularia maritima* 和芫荽 *Coriandrum sativum* 能提高温室中食蚜蝇的种群数量(Pineda and Marcos-Garcia, 2008), 金盏菊对七星瓢虫 *Coccinella*

septempunctata 诱集助迁、温室内定殖及控害效果均有增效作用(马云云等, 2019), 波斯菊 *Cosmos bipinnata* 花带可以诱集涵养更多的捕食性天敌, 增强生物防治效果(方艳等, 2021)。夏至草茎高 15-35 cm, 在 4-6 月开花, 可以作为天敌昆虫重要营养获取源, 夏至前后即死亡, 不影响果园后期的管理。因此, 夏至草作为功能植物, 适合进行果园生草种植, 涵养自然环境中天敌昆虫, 提高区域范围内天敌昆虫丰富度控制作物害虫。此外, 还可提高人工释放的东亚小花蝽和松毛虫赤眼蜂的定殖力, 增强天敌昆虫的控害能力。

参考文献 (References)

- Chen XX, Liu YQ, Ren SX, Zhang F, Zhang WQ, Ge F, 2014. Plant-mediated support system for natural enemies of insect pests. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(1): 1-12. [陈学新, 刘银泉, 任顺祥, 张帆, 张文庆, 戈峰, 2014. 害虫天敌的植物支持系统. 应用昆虫学报, 51(1): 1-12.]
- Chen YF, Wang S, Di N, Jin DC, 2021. Evaluation of the effects of *Beauveria bassiana* on the predation of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) by *Orius sauteri* (Hemiptera: Anthocoridae) using functional response model. *Acta Entomologica Sinica*, 64(8): 967-975. [陈亚丰, 王甦, 邸宁, 金道超, 2021. 利用功能反应模型评价球孢白僵菌对东亚小花蝽捕食二斑叶螨的影响. 昆虫学报, 64(8): 967-975.]
- Ding RF, Wang XL, Xu Y, Li HB, Wang F, Wang D, Sun SL, 2008. The effect of honey plants on arthropod community in apricot and wheat intercropping orchard. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 45(5): 960-963. [丁瑞丰, 王小丽, 徐遥, 李号宾, 汪飞, 王东, 孙世龙, 2008. 套种蜜源植物对杏-麦间作果园节肢动物群落的影响. 新疆农业科学, 45(5): 960-963.]
- Dong M, Zhang DW, Du XG, 2011. The relationship between aphids and their natural enemies and the ecological management. *Journal of Plant Protection*, 38(4): 327-332. [董民, 张顶武, 杜相革, 2011. 有机桃园天敌与蚜虫的互作关系及生态调控措施. 植物保护学报, 38(4): 327-332.]
- Fang Y, Wang J, Qin Y, Wang S, Jin ZY, Li S, 2021. Effect of *Cosmos bipinnata* on the population dynamics of predator natural enemies. *Chinese Journal of Biological Control*, 37(5): 877-884. [方艳, 王杰, 覃杨, 王甦, 金振宇, 李姝, 2021. 蜜源植物波斯菊对捕食性天敌种群动态的影响. 中国生物防治学报, 37(5): 877-884.]
- Gurr G, Wratten SD, Landis DA, You M, 2017. Habitat management to suppress pest populations: Progress and prospects. *Annual*

- Review of Entomology*, 62: 91–109.
- Huo LX, Li YY, Zhang D, Yu Q, Ning SF, Zhao X, Zhou JC, Dong H, 2021. Effects of oviposition intensity on the reproductive phenotype of parthenogenetic *Trichogramma dendrolimi* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) induced by *Wolbachia*. *Acta Entomologica Sinica*, 64(5): 597–604. [霍梁霄, 李媛媛, 张丹, 于茜, 宁素芳, 赵旭, 周金成, 董辉, 2021. 孤雌产雌生殖品系松毛虫赤眼蜂产卵强度对 *Wolbachia* 诱导的其生殖表型的影响. *昆虫学报*, 64(5): 597–604.]
- Jaworski CC, Xiao D, Xu QX, Ramirez-Romero R, Guo XJ, Wang S, Desneux N, 2019. Varying the spatial arrangement of synthetic herbivore-induced plant volatiles and companion plants to improve conservation biological control. *Journal of Applied Ecology*, 56(5): 1176–1188.
- Kang WY, Zhang L, Chen L, Yuan PF, 2010. Study on α -glucosidase inhibitory activity of two species of Labiaceae: *Salvia plebeia* and *Lagopsis supina*. *Chinese Traditional Patent Medicine*, 32(3): 493–495. [康文艺, 张丽, 陈林, 苑鹏飞, 2010. 两种唇形科植物荔枝草和夏至草 α -糖苷酶抑制活性研究. *中成药*, 32(3): 493–495.]
- Kong FL, Zhang S, Chi BJ, Liu J, Yang XL, Liu YJ, 2020. Effects of grassy pattern with multi-nectariferous plants on natural enemies in apple orchards. *Shandong Agricultural Sciences*, 52(7): 105–112. [孔凡来, 张硕, 迟宝杰, 刘锦, 杨向黎, 刘永杰, 2020. 多蜜源植物组合生草模式对果园天敌的繁育作用. *山东农业科学*, 52(7): 105–112.]
- Li S, Jaworski CC, Hatt S, Zhang F, Desneux N, Wang S, 2021. Flower strips adjacent to greenhouses help reduce pest populations and insecticide applications inside organic commercial greenhouses. *Journal of Pest Science*, 94(3): 679–689.
- Li S, Wang S, Zhao J, Yang LW, Gao XW, Zhang F, 2014. Efficacy of multicolored Asian lady beetle *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) against green peach aphid *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) on vegetables under greenhouse conditions. *Journal of Plant Protection*, 41(6): 699–704. [李姝, 王甦, 赵静, 杨丽文, 高希武, 张帆, 2014. 释放异色瓢虫对北京温室甜椒和圆茄上桃蚜的控害效果. *植物保护学报*, 41(6): 699–704.]
- Liang YY, Chen X, Dai HJ, Wang J, Guo XJ, Wang S, Jaworski CC, 2022. Flower provision reduces intraguild predation between predators and increases aphid biocontrol in tomato. *Journal of Pest Science*, 95(1): 461–472.
- Liu MF, Lu JQ, Jiang HM, Meng JM, Gong M, Huang JL, Xia JX, Zhou Y, 2018. Analysis on the volatile components of *Yimucao* (*Leonurus japonicus* Houtt) and its counterfeit *Xiazhicao* (*Lagopsis supina*) by HS-SPME-GC-MS. *Guiding Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy*, 24(16): 47–50. [刘梦菲, 卢金清, 江汉美, 孟佳敏, 龚敏, 黄晶玲, 夏佳璇, 周意, 2018. HS-SPME-GC-MS 分析益母草及其伪品夏至草的挥发性成分. *中医药导报*, 24(16): 47–50.]
- Lu ZB, Yu Y, Men QY, Li LL, Zhuang QY, Zhang SC, Yan YH, 2016. Impacts of combination of cover plants on pests and natural enemies in apple orchards. *Shandong Agricultural Sciences*, 48(8): 102–108. [卢增斌, 于毅, 门兴元, 李丽莉, 庄乾营, 张思聪, 严毓骅, 2016. 苹果园地面植被优化组合对害虫和天敌群落的影响. *山东农业科学*, 48(8): 102–108.]
- Ma YY, Zhang F, Wang S, Di N, 2019. Synergistic effect of functional plant *Calendula officinalis* (Asterales: Asteraceae) to the colonization of *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) in greenhouse. *Journal of Environmental Entomology*, 41(2): 51–57. [马亚云, 张帆, 王甦, 邸宁, 2019. 功能植物金盏菊对七星瓢虫温室定殖控害的增效作用研究. *环境昆虫学报*, 41(2): 51–57.]
- Maeda S, Nakashima Y, Tagashira E, Takagi M, 2002. Effects of sucrose on the longevity and fecundity of *Orius sauteri* (Poppius) (Hemiptera: Anthocoridae). *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology*, 46(3): 169–173.
- Nafziger TD, Fadamiro HY, 2011. Suitability of some farmscaping plants as nectar sources for the parasitoid wasp, *Microplitis croceipes* (Hymenoptera: Braconidae): Effects on longevity and body nutrients. *Biological Control*, 56(3): 225–229.
- Pineda A, Marcos-Garcia MA, 2008. Use of selected flowering plants in greenhouses to enhance aphidophagous hoverfly populations (Diptera: Syrphidae). *International Journal of Entomology*, 44(4): 487–492.
- Segoli M, Rosenheim JA, 2013. Spatial and temporal variation in sugar availability for insect parasitoids in agricultural fields and consequences for reproductive success. *Biological Control*, 67(2): 163–169.
- Sharma A, Sandhi RK, Reddy GVP, 2019. A review of interactions between insect biological control agents and semiochemicals. *Insects*, 10(12): 439.
- Siekmann G, Tenhumberg B, Keller MA, 2001. Feeding and survival in parasitic wasps: Sugar concentration and timing matter. *Oikos*, 95(3): 425–430.
- Su WW, Yang QF, Ouyang F, Men QY, Ge F, 2020. Characteristics and potential uses of the functional plant *Sonchus arvensis* L. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(1): 228–234. [苏文雯, 杨泉峰, 欧阳芳, 门兴元, 戈峰, 2020. 功能植物苣荬菜的特征及其应用潜能. *应用昆虫学报*, 57(1): 228–234.]
- Tian JC, Wang GR, Zheng XS, Lu ZX, 2018. The effect of sesame flowers on the fecundity and dispersal ability of *Trichogramma japonicum*. *Chinese Journal of Biological Control*, 34(6): 807–812. [田俊策, 王国荣, 郑许松, 吕仲贤, 2018. 芝麻花对稻螟赤眼蜂寄生和扩散能力的影响. *中国生物防治学报*, 34(6): 807–812.]

- Wang GW, Tian JC, Zhu PY, Zheng XS, Xu HX, Yang YJ, Lu ZX, 2014. Effects of sugar-rich foods on the longevity, fecundity and pest control capacity of arthropod natural enemies. *Acta Entomologica Sinica*, 57(8): 979–990. [汪庚伟, 田俊策, 朱平阳, 郑许松, 徐红星, 杨亚军, 吕仲贤, 2014. 蜜源食物对节肢动物天敌寿命、繁殖力和控害能力的影响. 昆虫学报, 57(8): 979–990.]
- Xing XX, Wang JZ, Qin HY, Zhang XM, Duan LQ, 2010. Biological characteristics of *Orius sauteri* and its functional response to peach aphid. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition)*, 31(4): 47–50 [邢秀霞, 王建忠, 秦海英, 张晓敏, 段立清, 2010. 东亚小花蝽的生物学特性及其对桃蚜的功能反应. 内蒙古农业大学学报 (自然科学版), 31(4): 47–50.]
- Xu JJ, Feng HZ, Li CM, Tu EX, Wang L, Li ZG, He J, Guo WC, 2014. Effect of releasing *Trichogramma* to control the *Cydia pomonella* (L.) and *Grapholitha molesta* (Busck). *Chinese Journal of Biological Control*, 30(5): 690–695. [许建军, 冯宏祖, 李翠梅, 吐尔逊, 王兰, 李志刚, 何江, 郭文超, 2014. 释放赤眼蜂防治苹果蠹蛾、梨小食心虫效果研究. 中国生物防治学报, 30(5): 690–695.]
- Yang QF, Ouyang F, Men QY, Ge F, 2018. Discovery and utilization of a functional plant, rich in the natural enemies of insect pests, in northern China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(5): 942–947. [杨泉峰, 欧阳芳, 门兴元, 戈峰, 2018. 北方富含天敌的功能植物的发现与应用. 应用昆虫学报, 55(5): 942–947.]
- Yang QF, Ouyang F, Men QY, Ge F, 2020. Functional plants: Current uses and future research. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(1): 43–50. [杨泉峰, 欧阳芳, 门兴元, 戈峰, 2020. 功能植物的作用原理, 方式及研究展望. 应用昆虫学报, 57(1): 43–50.]
- Yu H, 2016. Attraction of *Ahelia srandiflora* to *Anagrus nilavarvatae* (Hymenoptera: Mymaridae), an important egg parasitoid of rice planthoppers. Master dissertation. Zhejiang: Zhejiang University. [余航, 2016. 大花六道木对稻虱缨小蜂的引诱作用. 硕士学位论文. 浙江: 浙江大学.]
- Yu Y, Zhang AS, Yan YH, 1998. Studies on the occurrence and dispersion of *Orius sauteri* in relation to ground cover vegetation in apple orchard and adjacent farms. *Chinese Journal of Biological Control*, 14(4): 5–8. [于毅, 张安盛, 严毓骅, 1998. 东亚小花蝽的发生和扩散与苹果园和邻近农田植被的关系. 中国生物防治, 14(4): 5–8.]
- Zang LS, Wang S, Zhang F, Desneux N, 2021. Biological control with *Trichogramma* in China: History, present status and perspectives. *Annual Review of Entomology*, 66: 463–484.
- Zhang F, Li S, Xiao D, Zhao J, Wang R, Guo XJ, Wang S, 2015. Progress in pest management by natural enemies in greenhouse vegetables in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 48(17): 3463–3476. [张帆, 李姝, 肖达, 赵静, 王然, 郭晓军, 王甦, 2015. 中国设施蔬菜害虫天敌昆虫应用研究进展. 中国农业科学, 48(17): 3463–3476.]
- Zhang J, Pang DR, Huang Z, Huo HX, Li YT, Zheng J, Zhang Q, Zhao YF, Tu PF, Li J, 2015. Flavonoids from whole plants of *Lagopsis supina*. *Chinese Journal of Chinese Materia Medica*, 40(16): 3224–3228. [张静, 庞道然, 黄正, 霍会霞, 李月婷, 郑姣, 张倩, 赵云芳, 屠鹏飞, 李军, 2015. 夏至草的黄酮类成分研究. 中国中药杂志, 40(16): 3224–3228.]
- Zhang J, Tang RX, Fang HB, Liu XX, Michaud JP, Zhou ZY, Zhang QW, Li Z, 2021. Laboratory and field studies supporting augmentation biological control of oriental fruit moth, *Grapholitha molesta* (Lepidoptera: Tortricidae), using *Trichogramma dendrolimi* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Pest Management Science*, 77(6): 2795–2803.
- Zhao J, Guo XJ, Tan XL, Nicolas D, Lucia Z, Zhang F, Wang S, 2017. Using *Calendula officinalis* as a floral resource to enhance aphid and thrips suppression by the flower bug *Orius sauteri* (Hemiptera: Anthocoridae). *Pest Management Science*, 73(3): 515–520.
- Zhao YY, Tian JC, Zheng XS, Xu HX, Lu YH, Yang YJ, Zang LS, Lu ZX, 2017. Feasibility of *Trifolium repens* and *Oxalis corniculata* as the nectar resource plant to *Trichogramma chilonis*. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 29(1): 106–112. [赵燕燕, 田俊策, 郑许松, 徐红星, 鲁艳辉, 杨亚军, 臧连生, 吕仲贤, 2017. 酢浆草和车轴草作为螟黄赤眼蜂田间蜜源植物的可行性分析. 浙江农业学报, 29(1): 106–112.]
- Zhao ZH, Ouyang F, Men QY, Liu JH, He DH, Ge F, 2013. Habitat management in biological control. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(4): 879–889. [赵紫华, 欧阳芳, 门兴元, 刘军和, 贺达汉, 戈峰, 2013. 生境管理——保护性生物防治的发展方向. 应用昆虫学报, 50(4): 879–889.]
- Zheng XS, Yu XP, Lu ZX, Chen JM, Xu HX, 2003. Effects of different nutritional resources on the longevity and parasitic ability of egg parasitoid *Anagrus nilaparvatae*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 14(10): 1751–1755. [郑许松, 俞晓平, 吕仲贤, 陈建明, 徐红星, 2003. 不同营养源对稻虱缨小蜂寿命及寄生能力的影响. 应用生态学报, 14(10): 1751–1755.]
- Zhu PY, Lu ZX, Gurr G, Zheng XS, Donna R, Xu HX, 2012. Ecological functions of flowering plants on conservation of the arthropod natural enemies of insect pests in agroecosystem. *Chinese Journal of Biological Control*, 28(4): 583–588. [朱平阳, 吕仲贤, Geoff Gurr, 郑许松, Donna Read, 杨亚军, 徐红星, 2012. 显花植物在提高节肢动物天敌控制害虫中的生态功能. 中国生物防治学报, 28(4): 583–588.]
- Zhu PY, Wang GW, Zheng XS, Tian J, Lu ZX, Heong KL, Xu HX, Chen GH, Yang YJ, Gurr G, 2015. Selective enhancement of parasitoids of rice Lepidoptera pests by sesame (*Sesamum indicum*) flowers. *BioControl*, 60(2): 157–167.