



马亚云, 张帆, 王甦, 邸宁. 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 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (2): 276–282.

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

马亚云^{1,2}, 张 帆², 王 甦², 邸 宁^{2*}

(1. 北京农学院植物科学技术学院, 北京 102206;

2. 北京市农林科学院植物保护环境保护研究所, 北方果树病虫害绿色防控北京市重点实验室, 北京 100097)

摘要: 利用蜜源植物为天敌提供栖境和营养的生物防治增效技术已广泛应用。金盏菊 *Calendula officinalis* (Asterales: Asteraceae) 由于生长快、花期长而具备作为蜜源性功能植物为天敌昆虫定殖、迁移和控害能力增效的潜力。本试验从室内种群定殖、诱集助迁和控害增效作用评价 3 个方面研究了金盏菊对七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) 温室定殖控害的增效作用。试验表明, 在金盏菊的伴存下七星瓢虫种群个体数在 15 d 和 30 d 时分别增长 170% 和 320%, 显著高于对照组。金盏菊伴存时番茄植株对七星瓢虫的诱集助迁作用随时间的延长而显著上升。控害增效作用评价试验表明, 引入瓢虫 15 d 后, 试验处理内各个区域间七星瓢虫个体数量和蚜虫密度均有显著差异, 种植有金盏菊的小区内七星瓢虫个体数量显著大于对照组, 蚜虫密度均显著小于对照组; 引入瓢虫 30 d 时, 不同区域间的七星瓢虫个体数量和蚜虫密度未见显著差异。本研究证明了金盏菊对七星瓢虫诱集助迁、温室内定殖及控害效果均有增效作用, 为其作为功能性蜜源植物增加天敌释放效率和控害效果奠定了理论基础。

关键词: 金盏菊; 功能植物; 七星瓢虫; 定殖; 增效作用

中图分类号: Q968.1; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2019) 02-0276-07

Synergistic effect of functional plant *Calendula officinalis* (Asterales: Asteraceae) to the colonization of *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) in greenhouse

MA Ya-Yun^{1,2}, ZHANG Fan², WANG Su², DI Ning^{2*} (1. Plant Science and Technology College, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China; 2. Beijing Key Laboratory of Environment Friendly Management on Fruit Diseases and Pests in North China, Institute of Plant and Environment Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: The synergistic effect of nectar plants in biological control has been widely applied in the field, which can provide natural enemies with nutrition and habitat. *Calendula officinalis* (Asterales: Asteraceae), which grows fast and has a long flowering period, has the potential as nectar plants for the enhancement of colonization, migration and pest control of the natural enemies. In this study, the synergistic effects of *C. officinalis* on the colonization of *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) were studied in three aspects: colonization of indoor colonies, migration and evaluation of the synergistic effects of pest control in greenhouses. The results showed that the individual population of

基金项目: 国家桃产业技术体系 (CARS-30); 国家重点研发计划 (2017YFD0201000); 北京市自然科学基金 (D171100001617003)

作者简介: 马亚云, 女, 1991 年生, 硕士研究生, 河北保定人, 研究方向为设施蔬菜害虫生防, E-mail: 527334762@qq.com

* **通讯作者** Author for correspondence, 邸宁, 博士, E-mail: dining@ipephaafs.cn

收稿日期 Received: 2018-02-07; **接受日期** Accepted: 2018-04-26

C. septempunctata increased by 170% and 320% respectively on the 15th and 30th days, which was significantly higher than that of the control group. The trapping effect of *C. officinalis* accompanying by tomato plants on *C. septempunctata* increased significantly with time. The evaluation assay of enhancement effect by *C. septempunctata* in greenhouses showed that there was significant difference in the number of ladybugs individuals and the density of aphids in each area of the greenhouse. After 15 days of the introduction of ladybugs, the density of aphids was significantly lower than that of the control group. When *C. septempunctata* was introduced for 30 days, there was no significant difference in the number of the biological agents and the density of aphids between the different test areas. This study demonstrates that *C. officinalis* has a synergistic effect on the migration, field colonization and pest control ability of *C. septempunctata*, which provides a theoretical foundation for its application as a functional nectar source to increase the release efficiency and effects of natural enemies.

Key words: *Calendula officinalis*; functional plant; *Coccinella septempunctata*; colonization; synergistic effect

利用捕食性瓢虫对农林害虫进行生物防治是替代化学农药控害, 促进绿色植物保护发展的重要手段之一(陈学新等, 2013)。近年来, 随着天敌昆虫高效利用研究的不断深入, 捕食性天敌的释放技术已经从传统的淹没式释放(Inundative Releasing)转化为以助迁定殖为主的接种式释放(Inoculative Releasing)(肖英方, 2012)。接种式释放很大程度上减少了天敌的净投入, 降低了因为天敌过量投入造成的非靶标作用与潜在生态风险。但与此同时, 接种式释放由于天敌释放松散, 释放量有限, 需要其在靶标生态系统中完成定殖和种群扩增后才可以发挥持续控害作用, 因此针对天敌接种式释放的辅助增效技术已经成为相关领域研究的热点(杨怀文, 2015)。

保护型生物防治(Conservational Biological Control)是针对上述问题发展而来的主动调控型生物防治技术。围绕天敌保护增效, 通过筛选适宜的功能植物, 优化功能植物与生态景观的协同作用, 从而实现天敌昆虫接种式释放后的种群定殖、自我扩繁与可持续控害作用(孙传凯等, 2006)。此类功能植物主要包含蜜源营养植物、趋避/诱集植物以及栖境避难所植物。其中尤以蜜源营养植物最为重要。目前在蜜源植物的研究和利用方面已有诸多报道(朱平等, 2012)。蜜源食物对捕食性天敌的寿命、繁殖能力, 甚至子代的生态适应能力也都具有积极的作用(朱平等, 2013)。许多天敌都具有访花的习性(官昭璞等, 2005), 通过在靶标农业生态系统中定植一定比例的显花植物, 可以在天敌昆虫接种的初期实现对天敌释放种群的定殖辅助及空间主动调配作用,

并且在天敌昆虫猎物缺乏的时候及时为天敌补充营养(Hoferer et al., 2000)。在我们前期的研究工作中, 发现显花植物金盏菊 *Calendula officinalis* 具有较长的花期, 可以有效吸引捕食性和寄生性天敌(王甦等, 2007); 对捕食性天敌东亚小花蝽 *Orius sauteri* 饲养种群的扩繁和温室内控害具有很强的增效作用(杨帆等, 2017)。因此, 系统研究金盏菊对不同天敌昆虫是否存在相似的增效作用, 是进一步提升此类功能植物实际应用价值的必要工作。

本研究选择重要的捕食性天敌七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* 为研究对象, 在室内评价了金盏菊对七星瓢虫种群增长的影响, 以及金盏菊对天敌昆虫的吸引作用; 在温室有机番茄农业生态系统内, 评价了金盏菊对七星瓢虫在不同时间周期内种群定殖和可持续控害能力的支持增效作用。本研究结果不但可以帮助我们更好地理解功能植被对天敌昆虫的生态增效作用, 同时也为保护型生物防治的实践提供了技术参考。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫与植物

1.1.1 七星瓢虫

本研究所用七星瓢虫来自北京市农林科学院室内扩繁定殖种群。每30对七星瓢虫雌雄成虫饲养于一个定制养虫笼(45.0 cm × 45.0 cm × 50.0 cm, 铝合金框架 + 40目纱网制)内。笼内不间断提供生长至4~5片真叶的蚕豆苗作为产卵基质, 并每天提供足量豌豆修尾蚜 *Megoura japonica* Matsumura 作为饲料。连续饲养3代后取

体型近似的雌雄成虫供试。昆虫饲养条件由全自动室内环境控制系统 (LT-400, Suntech, 北京) 调节, 设置恒定环境条件为: 温度 25℃, 湿度 65%, 光照强度 1 100 Lux, 光照周期 16L:8D。

1.1.2 供试金盏菊

本研究所用金盏菊 (采购自北京新力园艺花卉有限公司) 初始育苗于塑料苗床中, 待生长至 3~4 片真叶期, 将其独立栽种于塑料花盆 (D = 13.0 cm, H = 20.0 cm) 中。培养 25 d, 待植株生长至 17.0~20.0 cm 后进行打顶。金盏菊在打顶约 2 周后开始进入花期。选择带有 4~5 朵花冠的金盏菊供试。

1.2 金盏菊对七星瓢虫种群定殖的室内评价

将 8 株已生长至带有 5~7 片真叶的番茄苗 *Solanum lycopersicum* (宝丰, 陕西杨凌长风种业公司) 和 1 株如前所述生长至带有 3~4 朵花冠的金盏菊按照 3 × 3 排列, 金盏菊位于中央并放置于同上规格的养虫笼内, 同时将 5 对已交配的 10 日龄七星瓢虫引入笼内, 并每日提供足量的微胶囊化人工饲料作为营养饲料。将同等规格的番茄苗 8 株与相同数量的七星瓢虫和人工饲料微胶囊, 置

于另一相同材质和尺寸的养虫笼中作为对照。将上述养虫笼放置于人工气候箱 (MH-350, Sanyo, 日本) 中并设置环境条件如 1.1.1 所述。后在第 15 天和第 30 天观察计数笼内所有的七星瓢虫数量 (幼虫 + 成虫)。处理和对照均在同样条件下重复 15 次。

1.3 金盏菊对七星瓢虫种群诱集助迁的室内评价

金盏菊对七星瓢虫的室内诱集助迁作用评价在北京市平谷区诺亚有机农场 (北京市平谷区马常营镇云打路) 昆虫繁育室内进行。8 株带有 5~6 片真叶的番茄苗与 1 株带有 3~4 朵花冠的金盏菊呈 3 × 3 排列并放置于 B 室观察台上, AB 两室对立室壁 (室壁为透明亚克力材料) 上各开取直径为 20 cm 的通风口并覆盖以 40 目纱网 (见图 1)。试验开始时将 150 头随机选择的七星瓢虫成虫放置于 A 室释放台上, 七星瓢虫可以在 AB 两室间经由通道自由迁移。于释放后 20、40、60、80 和 100 min 记录在 B 室植物及空间内的全部七星瓢虫成虫数量。另在不带有金盏菊植株的条件下重复前述步骤作为对照。试验环境条件控制方法与设置如 1.1.1 所述, 各处理重复 10 次。

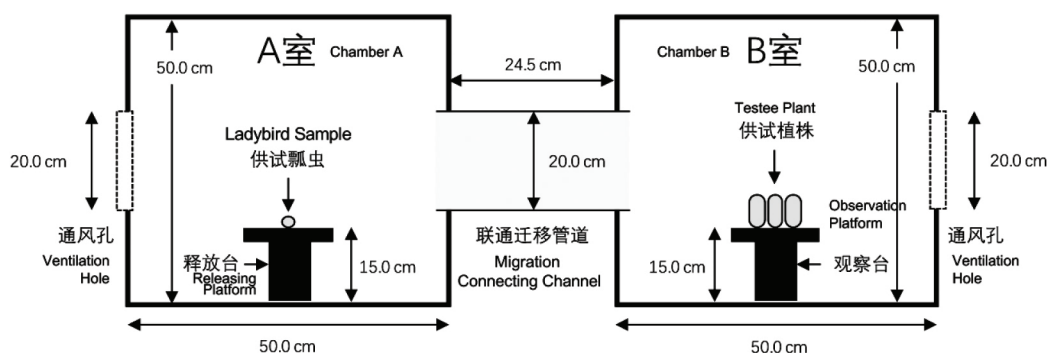


图 1 金盏菊对七星瓢虫种群诱集助迁的室内评价设备设置图

Fig. 1 The experimental setup of *Calendula officinalis* to the *Coccinella septempunctata* in colonization, dispersal practically indoor

1.4 温室内金盏菊对七星瓢虫释放定殖、助迁以及控害增效作用的评价

金盏菊对七星瓢虫实际接种式释放的增效作用评价同样在北京市平谷区诺亚有机农场生产日光温室内进行。试验选择在生产温室内以棚膜作为隔离壁材所分割而成的独立区域内进行。试验区被划分为瓢虫释放区 A, 不同扩散控害观察区 O_1 、 O_2 和 O_3 (见图 2)。每一区域内于 2017 年 2 月 15 日均匀定植番茄 *Solanum lycopersicum* var. (宝丰) 13 株/列 × 15 列。两区域间保留空白隔离区不定植任何植物。当所有番茄发育到带有 5~

7 片真叶时, 在 O_3 和 O_2 区域间的空白隔离区内定植 5 株/列 × 1 列金盏菊 (带有 3~4 朵花冠)。处理温室隔离区内未定植金盏菊作为对照。同时在 4 个区域 (A , O_{1-3}) 内随机选择 10 株番茄接种桃蚜 (100 头 3 龄若虫/株) 作为靶标害虫。5 d 后, 在瓢虫释放区 A 内随机选择 5 点释放 100 对七星瓢虫。于释放后在第 15 天和第 30 天在 A 、 O_{1-3} 区域内随机调查 5 株番茄, 统计各区域内的七星瓢虫种群数量 (幼虫 + 成虫) 及桃蚜 (各龄若虫) 数量。对照和处理试验步骤各在 3 个温室内重复完成。

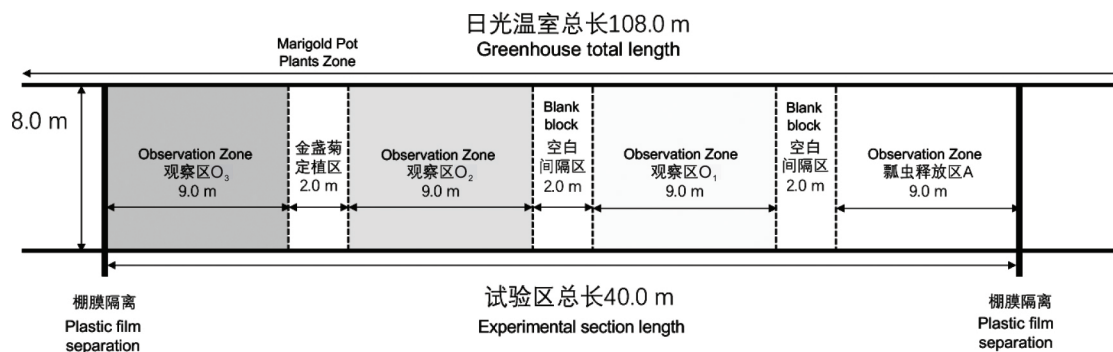


图2 金盏菊对七星瓢虫种群诱集助迁控害作用温室评价试验设置说明

Fig. 2 Illustration of experimental setup of the enhancement effect by *Calendula officinalis* to the *Coccinella septempunctata* in colonization, dispersal and pest suppression practically in greenhouse

1.5 数据处理与分析

所有数据均使用 R 2.032 进行统计分析。金盏菊对七星瓢虫室内种群定殖的作用在同一时间点采用独立样本 *t* 检验进行差异显著性分析; 金盏菊对七星瓢虫室内诱集助迁作用在不同观测时间点之间采用 Slit - ANOVA 进行差异显著性分析; 温室内定殖助迁作用利用 Slit - ANOVA 对同一时间点不同区域之间天敌、害虫种群动态进行显著性分析; 同时利用独立样本 *t* 检验对同一时间点且同一区域内天敌、害虫种群动态进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 金盏菊对七星瓢虫种群定殖的室内评价

七星瓢虫在 15 d ($t = 2.16$, d. f. = 28, $P < 0.05$) 和 30 d ($t = 11.33$, d. f. = 28, $P < 0.05$) 时, 在有金盏菊伴存条件下其个体数量显著大于空白对照, 分别较初始种群个体数量增长了 170% 和 320%。而空白对照内种群个体数量仅增长了 60% 和 160% (见图 3)。

2.2 金盏菊对七星瓢虫种群诱集助迁的室内评价

在有金盏菊伴存时番茄植株对七星瓢虫的诱集助迁作用随时间的增加显著上升 ($F = 19.22$, d. f. = 4, 49, $P < 0.05$), 而在空白对照组内各时间点间七星瓢虫的迁移数量无显著差异 ($F = 0.97$, d. f. = 4, 49, $P = 0.44$) (见图 4)。七星瓢虫迁移数量在释放后 20 min ($t = 0.11$, d. f. = 18, $P = 0.57$) 和 40 min ($t = 0.17$, d. f. = 18, $P = 0.34$) 时未见显著差异。随着观察时间的持续, 在 60 min ($t = 4.31$, d. f. = 18, $P < 0.05$)、80 min ($t = 6.21$, d. f. = 18, $P < 0.05$) 及 100 min ($t =$

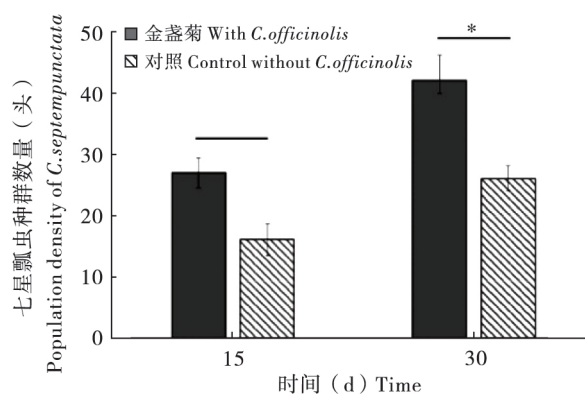


图3 有无金盏菊条件下七星瓢虫个体数量变化比较

Fig. 3 Comparison of number of *Coccinella septempunctata* individuals with/without *Calendula officinalis*

注: * 表示同一观测日内不同处理间经 *t* 检验在 $P = 0.05$ 水平下差异显著。Note: * indicates that there are significant differences between treatments in each observation day by *t*-test at $P = 0.05$ level.

14.13, d. f. = 18, $P < 0.05$) 时七星瓢虫在金盏菊伴存条件下的个体迁移数量均显著大于空白对照。

2.3 温室内金盏菊对七星瓢虫释放定殖、助迁以及控害增效作用的评价

七星瓢虫在释放后第 15 天, 金盏菊处理 ($F = 5.33$, d. f. = 3, 44, $P < 0.05$) 及对照处理 ($F = 4.19$, d. f. = 3, 44, $P < 0.05$) 各区域内的虫口密度均存在显著差异 (见图 5)。而有金盏菊的处理除 A ($t = -5.01$, d. f. = 28, $P < 0.05$) 区域外, O₁ ($t = 3.11$, d. f. = 28, $P < 0.05$)、O₂ ($t = 2.89$, d. f. = 28, $P < 0.05$) 和 O₃ ($t = 16.21$, d. f. = 28, $P < 0.05$) 各区域内七星瓢虫的个体数量均显著大于对照处理。且整个试验区内金盏菊处理中瓢虫个体数显著大于对照处理 ($t = 2.17$,

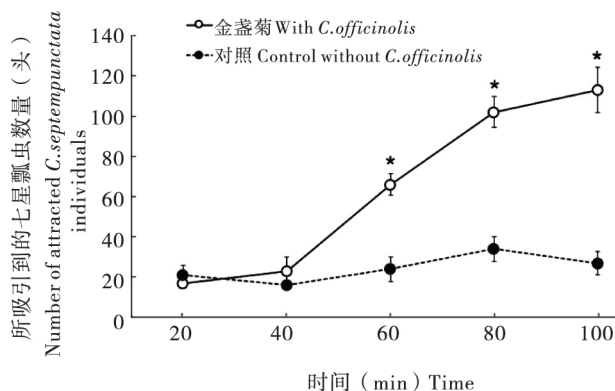


图4 有无金盏菊条件下七星瓢虫迁移数量变化比较

Fig. 4 Comparison of number of dispersed *Coccinella septempunctata* individuals with/without *Calendula officinalis*
 注: * 表示同一观测时间内不同处理间经 t 检验在 $P = 0.05$ 水平下差异显著。Note: * indicates that there are significant differences between treatments in each observation timepoint by t -test at $P = 0.05$ level.

d. f. = 28, $P < 0.05$)。与第 15 天不同, 七星瓢虫在释放后第 30 天, 金盏菊处理 ($F = 1.03$, d. f. = 3, 44, $P = 0.062$) 及对照处理 ($F = 0.92$, d. f. = 3, 44, $P = 0.44$) 内各区域的虫口密度均未见显著差异。但 A ($t = 11.05$, d. f. = 28, $P < 0.05$)、 O_1 ($t = 10.26$, d. f. = 28, $P < 0.05$)、 O_2 ($t = 8.96$, d. f. = 28, $P < 0.05$) 和 O_3 ($t = 11.47$, d. f. = 28,

$P < 0.05$) 各区域七星瓢虫的个体数量均显著大于对照处理。且整个试验区内金盏菊处理的瓢虫个体数显著大于对照 ($t = 29.54$, d. f. = 28, $P < 0.05$)。

在释放七星瓢虫后第 15 天, 金盏菊处理 ($F = 6.17$, d. f. = 3, 44, $P < 0.05$) 及对照处理 ($F = 12.41$, d. f. = 3, 44, $P < 0.05$) 各区域内的桃蚜密度均有显著差异 (见图 6)。同样金盏菊处理内除 A ($t = 7.64$, d. f. = 28, $P < 0.05$) 区域外, O_1 ($t = 6.23$, d. f. = 28, $P < 0.05$)、 O_2 ($t = 6.77$, d. f. = 28, $P < 0.05$) 和 O_3 ($t = 13.41$, d. f. = 28, $P < 0.05$) 各区域内桃蚜个体数量均显著小于对照处理。且整个试验区内金盏菊处理的蚜虫个体数显著小于对照 ($t = 15.48$, d. f. = 28, $P < 0.05$)。七星瓢虫释放后第 30 天, 金盏菊处理 ($F = 0.76$, d. f. = 3, 44, $P = 0.14$) 及对照处理 ($F = 0.63$, d. f. = 3, 44, $P = 0.33$) 各区域内的虫口密度均未见显著差异。但金盏菊处理内 A ($t = -23.11$, d. f. = 28, $P < 0.05$)、 O_1 ($t = -19.68$, d. f. = 28, $P < 0.05$)、 O_2 ($t = -20.47$, d. f. = 28, $P < 0.05$) 和 O_3 ($t = 18.66$, d. f. = 28, $P < 0.05$) 各区域桃蚜密度均显著低于对照处理。且整个试验区内金盏菊处理的桃蚜密度显著低于对照处理 ($t = 102.78$, d. f. = 28, $P < 0.05$)。

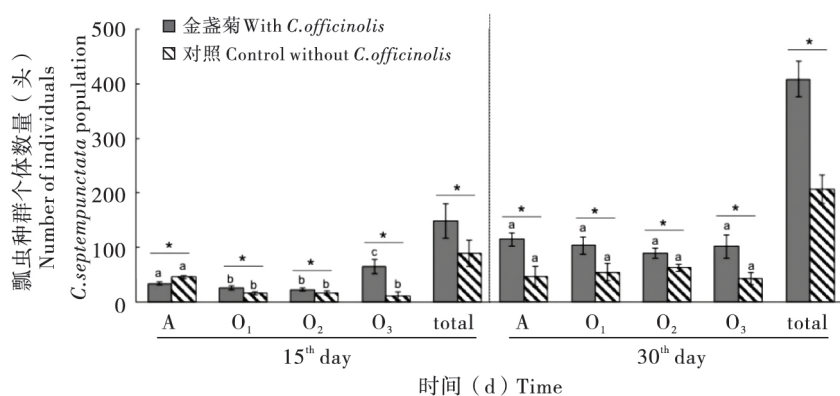


图5 七星瓢虫在有/无金盏菊条件下在不同区域和不同时间点种群个体数量比较

Fig. 5 Comparison of individual number of *Coccinella septempunctata* population of the treatments with/without *Calendula officinalis* in different observational sections at different timepoints

注: 同一观测时间点内相同颜色柱形图顶不同字母表示经 Slit-ANOVA 分析在 $P = 0.05$ 水平差异显著。* 表示在同一区域对象内不同处理间经 t -test 分析在 $P = 0.05$ 水平差异显著。Note: The different letters on the top of the columns with same color in same timepoint indicate the significant differences by slit-ANOVA at $P = 0.05$ level. * indicates that there are significant differences between treatments in each observation section in same timepoint.

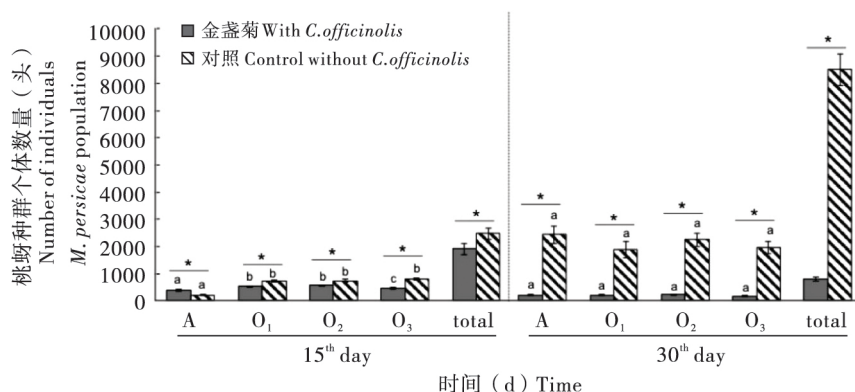


图6 桃蚜在有/无金盏菊条件下在不同区域和不同时间点种群个体数量比较

Fig. 6 Comparison of individual number of *Myzus persicae* population of the treatments with/without *Calendula officinalis* in different observational sections at different timepoints

注: 同一观测时间点内相同颜色柱形图顶不同字母表示经 Slit-ANOVA 分析在 $P = 0.05$ 水平差异显著。* 表示在同一区域对象内不同处理间经 t -test 分析在 $P = 0.05$ 水平差异显著。Note: The different letters on the top of the columns with same color in same timepoint indicate the significant differences by slit-ANOVA at $P = 0.05$ level.

* indicates that there are significant differences between treatments in each observation section in same timepoint.

3 结论与讨论

本研究室内试验表明, 金盏菊处理内七星瓢虫种群数量增长率在 15 d 和 30 d 时分别为对照组的 2.8 倍和 2 倍, 能够显著提高七星瓢虫的种群密度, 同时金盏菊对其诱集助迁作用也随时间的增加而显著上升。本研究直接证明了金盏菊作为功能植物能够增加七星瓢虫的定殖效率。温室试验表明, 金盏菊伴存对七星瓢虫的种群定殖、助迁和控害效果具有显著提高作用。但值得注意的是, 在引入瓢虫 15 d 时处理组和对照组内各区域七星瓢虫和蚜虫的密度均有显著差异, 而在 30 d 时未见显著差异, 可能是由于桃蚜和七星瓢虫的自主迁移随时间的增长不断加强。

功能植物作为辅助增效手段来提高生物防治效果的应用已有诸多报道。丁瑞丰等 (2008) 通过在果园套种油菜、茼蒿、苜蓿三种蜜源植物, 有效增加了果园节肢动物多样性, 提高了天敌昆虫的控害效果。除果园之外, 大田中应用功能植物的尝试也在不断增加 (Lu *et al.*, 2014)。田埂间作蜜源植物芝麻可以显著提高稻虱缨小蜂 *Anagrus nilaparvatae* 和黑肩绿盲蝽 *Cyrtorhinus lividipennis* 对稻飞虱的防控能力 (Zhu *et al.*, 2014; Lu *et al.*, 2015; Zhu *et al.*, 2015)。玉米花粉和大豆花能延长稻虱缨小蜂的寿命, 从而显著

提高对褐飞虱的控害效果 (郑许松等, 2003)。但在温室蔬菜防治方面, 蜜源植物对生物防治效果的增效作用研究相对较少, 而基于我国绿色植保的发展, 温室蔬菜中天敌昆虫保护利用的重要性日益凸显。合理有效地利用天敌控制害虫种群既可减少农药的使用, 还能帮助农田生态系统恢复自然控害的能力, 促进农业的可持续发展 (陈学新等, 2014)。本研究便是利用功能植物对温室内天敌释放增效技术的有益探索。

总之, 本研究通过将金盏菊与番茄苗伴植, 从种群定殖、诱集助迁和控害效果等 3 个方面研究了金盏菊伴存对七星瓢虫控害的增效作用。室内笼罩和温室内实验均表明金盏菊作为功能性蜜源植物对七星瓢虫的种群定殖和迁移有极显著的促进作用。同时研究也发现, 不同时间周期不同区域内金盏菊对七星瓢虫的可持续控害能力具有支持增效作用, 表明金盏菊在天敌接种式释放过程中可以作为功能植物应用。基于本研究结果, 仍需进一步研究七星瓢虫和桃蚜种群动态的长期变化, 从而揭示蜜源植物伴存时靶标害虫和天敌数量变化机制。然而, 由于大部分鳞翅目害虫也取食花蜜, 蜜源植物的伴存可能会提高非靶标害虫的寿命和产卵率 (Wäckers *et al.*, 2007), 在室外环境中种植蜜源植物还需考虑到生态风险问题 (Kevan and Baker, 1983; Menalled and Smith, 2006)。所以在今后的研究中, 除关注功能性蜜源

植物对靶标天敌的应用增效作用和对靶标害虫的协同控害效果外, 还需考虑对非靶标害虫种群动态的影响。

参考文献 (References)

- Chen XX, Liu YQ, Ren SX, *et al.* Plant-mediated support system for natural enemies of insect pests [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2014, 51 (1): 1-12. 陈学新, 刘银泉, 任顺祥, 等. 害虫天敌的植物支持系统 [J]. *应用昆虫学报*, 2014, 51 (1): 1-12]
- Chen XX, Ren SX, Zhang F, *et al.* Mechanism of pest management by natural enemies and their sustainable utilization [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2013, 50 (1): 9-18. 陈学新, 任顺祥, 张帆, 等. 天敌昆虫控害机制与可持续利用 [J]. *应用昆虫学报*, 2013, 50 (1): 9-18]
- Ding RF, Wang XL, Xu Y, *et al.* The effect of honey plants on arthropod community in apricot and wheat intercropping orchard [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2008, 45 (5): 960-963. 丁瑞丰, 王小丽, 徐遥, 等. 套种蜜源植物对杏-麦间作果园节肢动物群落的影响 [J]. *新疆农业科学*, 2008, 45 (5): 960-963]
- Guan SY, Wu YG, Yuan HB, *et al.* Research review of insect pollination mechanism [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2005, 27 (6): 608-613. 官昭瑛, 吴艳光, 袁海滨, 等. 昆虫访花机制研究概述 [J]. *吉林农业大学学报*, 2005, 27 (6): 608-613]
- Hoferer S, Wäckers FL, Dorn S. Measuring CO₂ respiration rates in the parasitoid *Cotesia glomerata* [J]. *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Allgemeine und Angewandte Entomologie*, 2000, 12 (1/6): 555-558.
- Kevan PG, Baker HG. Insects as flower visitors and pollinators [J]. *Annual Review of Entomology*, 1983, 28 (1): 407-453.
- Lu ZX, Zhu PY, Gurr GM, *et al.* Mechanisms for flowering plants to benefit arthropod natural enemies of insect pests: Prospects for enhanced use in agriculture [J]. *Insect Science*, 2014, 21 (1): 1-12.
- Lu ZX, Zhu PY, Gurr GM, *et al.* Rice pest management by ecological engineering: A pioneering attempt in China. In: Heong K, Cheng J, Escalada M, eds. *Rice Planthoppers* [M]. Dordrecht: Springer, 2015: 161-178.
- Menalled FD, Smith RG. Plant-provided food for carnivorous insects: A protective mutualism and its applications [J]. *Environmental Entomology*, 2006, 35 (4): 1137-1137.
- Sun CK, Fu XH, Sun Y. The modern biological technique and the prevention of the crop pest [J]. *Sci-Tech Information Development & Economy*, 2006, 16 (16): 167-168. 孙传凯, 付秀华, 孙毅. 现代生物技术与作物病虫害防治 [J]. *科技情报开发与经济*, 2006, 16 (16): 167-168]
- Wang S, Zhang RZ, Zhang F. Research progress on biology and ecology of *Harmonia axyridis* Pallas [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18 (9): 2117-2126. 王甦, 张润志, 张帆. 异色瓢虫生物生态学进展 [J]. *应用生态学报*, 2007, 18 (9): 2117-2126]
- Wäckers FL, Romeis J, Van RP. Nectar and pollen feeding by insect herbivores and implications for multitrophic interactions [J]. *Annual Review of Entomology*, 2007, 52: 301-323.
- Xiao YF, Mao RQ, Shen GQ, *et al.* Banker plant system: A new approach for biological control of arthropod pests [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2012, 28 (1): 1-8. 肖英方, 毛润乾, 沈国清, 等. 害虫生物防治新技术—载体植物系统 [J]. *中国生物防治学报*, 2012, 28 (1): 1-8]
- Yang F, Wang S, Zhang JM, *et al.* Olfactory influences and filed attractions of enhancing plant and herbivore induced defense volatiles to predacious flower bug *Orius sauteri* (Hemiptera: Anthoridae) and parasitoid wasp *Encarsia sophia* (Hymenoptera: Aphelinidae) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2017, 39 (6): 1250-1257. 杨帆, 王甦, 张君明, 等. 增殖植物和植物诱导抗性挥发物质对东亚小花蝽和浅黄恩蚜小蜂的嗅觉行为影响及田间诱集作用 [J]. *环境昆虫学报*, 2017, 39 (6): 1250-1257]
- Yang HW. Review in utilization of insect natural enemies during the period from 1985 to 2015 in China (Part 2) [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2015, 31 (5): 603-612. 杨怀文. 我国农业害虫天敌昆虫利用三十年回顾 (下篇) [J]. *中国生物防治学报*, 2015, 31 (5): 603-612]
- Zheng XS, Yu XP, Lu ZX, *et al.* Effects of different nutritional sources on the longevity and parasitoid *Anagrus nilaparvatae* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14 (10): 1751-1755. 郑许松, 俞晓平, 吕仲贤, 等. 不同营养源对稻虱缨小蜂寿命及寄生能力的影响 [J]. *应用生态学报*, 2003, 14 (10): 1751-1755]
- Zhu PY, Lu ZX, Heong KL, *et al.* Selection of nectar plants for use in ecological engineering to promote biological control of rice pests by the predatory bug, *Cyrtorhinus lividipennis*, (Heteroptera: Miridae) [J]. *PLoS ONE*, 2014, 9 (9): e108669.
- Zhu PY, Lu ZX, Zheng XS, *et al.* Ecological functions of flowering plants on conservation of the arthropod natural enemies of insect pests in agroecosystem [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2012, 28 (4): 583-588. 朱平阳, 吕仲贤, 郑许松, 等. 显花植物在提高节肢动物天敌控制害虫中的生态功能 [J]. *中国生物防治学报*, 2012, 28 (4): 583-588]
- Zhu PY, Sheng XQ, Fang DH, *et al.* Effect of feeding parental adults with plant flowers on growth and predatory capacity of next generation of mired bug *Cyrtorhinus lividipennis* [J]. *China Plant Protection*, 2013, 33 (10): 17-21. 朱平阳, 盛仙俏, 方德华, 等. 黑肩绿盲蝽成虫取食植物花后对下一代生长和捕食能力的影响 [J]. *中国植保导刊*, 2013, 33 (10): 17-21]
- Zhu PY, Wang GW, Zheng XS, *et al.* Selective enhancement of parasitoids of rice Lepidoptera pests by sesame (*Sesamum indicum*) flowers [J]. *BioControl*, 2015, 60 (2): 157-167.