



米莹莹, 杨亚洁, 王甦, 金振宇, 李姝. 基于捕食性天敌及害虫种群动态筛选功能植物的研究 [J]. 环境昆虫学报, 2024, 46 (2): 489–497. MI Ying-Ying, YANG Ya-Jie, WANG Su, JIN Zhen-Yu, LI Shu. Detection of functional plants in relation to the population dynamics of natural predators and pests [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2024, 46 (2): 489–497.

基于捕食性天敌及害虫种群动态筛选功能植物的研究

米莹莹^{1,2}, 杨亚洁², 王甦², 金振宇^{1*}, 李姝^{2*}

(1. 长江大学农学院, 湖北荆州 434025; 2. 北京市农林科学院植物保护研究所/农业农村部天敌昆虫重点实验室, 北京 100097)

摘要: 新兴的生态调控技术是利用非作物植物进行天敌生境管理的重要措施。为筛选出适宜增效捕食性天敌的功能植物, 进而提高天敌对农林生态系统害虫的控制能力, 本文通过追踪调查 15 种功能植物与对照杂草区域内节肢动物群落时序动态, 比较了捕食性天敌及植食性害虫的累积量、益害比以及优势天敌类群与主要害虫关联性、时序动态变化。结果显示, 绿豆 *Vigna radiata*、紫花苜蓿 *Medicago sativa*、蓖麻 *Ricinus communis*、芥蓝 *Brassica alboglabra*、罗勒 *Ocimum basilicum*、芝麻 *Sesamum indicum* 上捕食性天敌累积量、益害比高于其他植物, 且与主要害虫的关联性和时序变化关系明确, 有益于优势天敌中华通草蛉 *Chrysoperla sinica*、异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 等种群, 可以作为捕食性天敌的生境管理功能植物。本研究为今后进一步更好的筛选出应用于田间保护性生物防治的植物提供基础以及新思路。

关键词: 功能植物; 保护性生物防治; 害虫综合管理; 天敌昆虫

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2024) 02-0489-09

Detection of functional plants in relation to the population dynamics of natural predators and pests

MI Ying-Ying^{1,2}, YANG Ya-Jie², WANG Su², JIN Zhen-Yu^{1*}, LI Shu^{2*} (1. College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou 434025, Hubei Province, China; 2. Institute of Plant and Environment Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences/Key Laboratory of Natural Enemies Insects, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100097, China)

Abstract: Emerging ecological regulation techniques are important measures for natural enemy habitat management using non-crop plants. In order to screen suitable functional plants to increase the effectiveness of predatory natural enemies, and thus improve the control effect of natural enemies on pests in agricultural ecosystems, we monitored and investigated the temporal dynamics of arthropods communities in 15 functional plants. Then the accumulations, the predator-herbivore ratio as well as the relationship between dominant groups of natural enemies and phytophagous pests, and the temporal dynamics were compared. The results showed that *Vigna radiata*, *Medicago sativa*, *Ricinus communis*, *Brassica alboglabra*, *Ocimum basilicum* and *Sesamum indicum* had a greater accumulation of predators and predator-herbivore ratio than other plants. Meanwhile, these predators were clearly correlated with herbivore and temporal dynamics. These could be used as functional plants in habitat management, which were

基金项目: 国家自然科学基金青年基金 (32202372); 北京市农林科学院青年科学基金 (QNJJ202321)

作者简介: 米莹莹, 女, 硕士研究生, 研究方向为害虫生物防治, E-mail: 15572177930@163.com

* 共同通讯作者 Author for correspondence: 金振宇, 博士, 副教授, 研究方向为害虫生物防治, E-mail: ahk_731@163.com; 李姝, 博士, 高级农艺师, 研究方向为害虫生物防治, E-mail: ls_baafs@163.com

收稿日期 Received: 2023-03-02; 接受日期 Accepted: 2023-08-25

beneficial to the dominant natural enemies *Chrysoperla sinica*, *Harmonia axyridis* and so on. This study provides the basis and new ideas for further detection of functional plants used in conservation biological control.

Key words: Functional plant; conservation biological control; integrated pest management; predator natural enemy

天敌的保护利用是保护型生物防治(Conservation biological control, CBC)的核心内容,通过增加非作物植物提供营养或越冬、越夏等避难所,改善天敌生存条件,提高天敌种群多样性及丰富度,能够实现长期有效的控制害虫(陈学新等,2014)。近年来基于保护和利用功能植物的生境管理(Habitat management)研究中,尤其是功能植物在维持和促进天敌控制害虫、维持作物产量与品质中的重要性越来越受到关注(Landis *et al.*, 2000; Gurr *et al.*, 2017; 杨泉峰等,2020)。

从害虫生态调控的角度,功能植物就是指能涵养天敌和传粉昆虫而又不作为害虫寄主的植物(杨泉峰等,2020)。按照对天敌的作用功能可分为:蜜源植物(丁瑞丰等,2008;方艳等,2021)、储蓄植物(李姝等,2020)、诱集植物(鲁艳辉等,2017)等。在不同农业生态系统中的功能植物应用研究,取得了不同增效天敌生防的效果。如在水稻生态系统中,Gurr *et al.* (2015)发现在稻田的田埂和四周种植蜜源植物能够增加捕食性或寄生性天敌的丰富度,从而有效控制稻飞虱,降低杀虫剂的使用量而提高经济收益。刘梅等(2021)发现应用蚕豆 *Vicia faba* 为储蓄植物的南方小花蝽 *Orius strigicollis* 在储蓄植物系统内可以实现对茶叶害虫的长效防控。在设施蔬菜生态系统中,金盏菊 *Calendula officinalis* 对捕食性瓢虫诱集助迁、温室内定殖及控害效果均有增效作用(马亚云等,2019;Liang *et al.*, 2022)。但是,在一个复杂的生态系统之中,功能植物选择不当,也会成为病虫害的孳生地,病虫害发生的“桥梁田”。

目前,筛选合适天敌的功能植物类型依据有:天敌在植物上的发生密度(吴月坤等,2019)、天敌对植物气味选择性(张昌容等,2021)、天敌在植物上繁殖系数、发育历期、存活率等生物学参数(Waite *et al.*, 2014)以及天敌及害虫的种群数量动态。因此,充分比较功能植物对天敌、害虫种群等影响,才可进一步更好的筛选植物应用

于农林害虫的保护性生物防治。

为筛选出适宜增效捕食性天敌的功能植物,本研究通过调查15种在我国北方种植常见的开花植物上天敌昆虫、害虫种群动态,充分比较不同植物上天敌与害虫间种群发生相关性,筛选出对天敌种群有益的功能植物,为促进天敌田间增殖保育工作提供基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试验地点

选择了北方常见的15种供试植物,见表1,所有种子均来自北京花儿朵朵仙子农业有限公司。

试验地点在北京市诺亚农业发展有限公司(平谷区马昌营镇王各庄116°59'E, 40°6'N),该农场的生产管理模式符合欧洲、美国和日本有机农业标准认定的要求。

1.2 方法

1.2.1 试验小区设计

分别将4个温室间空地(100 m×2.4 m),划分为16个区域(面积为20 m×2.4 m),分别种植15种供试植物(表1)以及对照区,不同小区之间间隔0.5 m。15种植物于5月初开始定植。对照区保留杂草不做处理,杂草种类以刺儿菜 *Cirsium setosum* 为主。

1.2.2 不同功能植物上节肢动物种群动态调查

节肢动物种群调查使用2种方法。目测法:在试验小区内随机选取5株植物,每株植物依次从上中下三个部位记录2~3片真叶,观察并记录叶片上的节肢动物种类、虫态、数量;网捕法:应用捕虫网(直径38.1 cm,自制)在试验小区中随机来回扫网6下,扫网摆动幅度为180°,记录网内节肢动物种类、虫态、数量。当遇到无法直接识别物种时,统一收集到标本样品袋,带回实验室使用显微镜并查阅文献资料进行鉴定。调查时间为2017年6月7日至9月12日,每隔7 d进行一次调查。共调查了15次。记录所有调查日期内当天温度、降水等气候情况。

表 1 15 种待选功能植物及杂草的植物学属性
Table 1 Characteristics of 15 functional plants to be screened

种名 Species	科 Family	开花期月份 Blooming month	一年生/多年生 Annual/perennial
苘麻 <i>Abutilon theophrasti</i>	锦葵科 Malvaceae	07 – 08 Jul. – Aug.	一年生 Annual
芥蓝 <i>Brassica alboglabra</i>	十字花科 Cruciferae	05 – 06 May. – Jun.	一年生 Annual
蓖麻 <i>Ricinus communis</i>	大戟科 Euphorbiaceae	06 – 09 Jun. – Sep.	一年生 Annual
绿豆 <i>Vigna radiata</i>	豆科 Leguminosae	06 – 07 Jun. – Jul.	一年生 Annual
紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	豆科 Leguminosae	06 – 10 Jun. – Oct.	一年生/多年生 Annual/Perennial
莨苳 <i>Anethum graveolens</i>	伞形科 Umbelliferae	05 – 08 May. – Aug.	一年生 Annual
矢车菊 <i>Centaurea cyanus</i>	菊科 Compositae	06 – 08 Jun. – Aug.	一年生/两年生 Annual/Biennial
万寿菊 <i>Tagetes erecta</i>	菊科 Compositae	07 – 09 Jul. – Sep.	一年生 Annual
向日葵 <i>Helianthus annuus</i>	菊科 Compositae	07 – 09 Jul. – Sep.	一年生 Annual
洋甘菊 <i>Matricaria chamomilla</i>	菊科 Compositae	05 – 07 May. – Jul.	一年生 Annual
百里香 <i>Thymus mongolicus</i>	唇形科 Labiatae	07 – 08 Jul. – Aug.	多年生 Perennial
牛至 <i>Origanum vulgare</i>	唇形科 Labiatae	07 – 09 Jul. – Sep.	多年生 Perennial
罗勒 <i>Ocimum basilicum</i>	唇形科 Labiatae	07 – 09 Jul. – Sep.	一年生 Annual
芝麻 <i>Sesamum indicum</i>	胡麻科 Pedaliaceae	08 – 09 Aug. – Sep.	一年生 Annual
南瓜 <i>Cucurbita moschata</i>	葫芦科 Cucurbitaceae	07 – 08 Jul. – Aug.	一年生 Annual
刺儿菜 <i>Cirsium setosum</i>	菊科 Compositae	06 – 09 Jun. – Sep.	一年生 Annual

1.2.3 个体数量益害比

个体数量益害比用于评估自然天敌的生态控害效能，其计算公式为（参考刘雨芳等，2019）： $N_{pi} = N_p / N_i$ 。式中， N_p 与 N_i 分别代表天敌与害虫的个体数量

1.3 数据分析

将调查的节肢动物参考方艳等（2022）节肢动物类群划分方法归类。捕食性天敌：瓢虫、草蛉、小花蝽、食蚜蝇和蜘蛛等；植食性害虫：蚜虫、粉虱、蓟马、植食性蝽等。按照种群数量所占比例 $\geq 30\%$ ，划分捕食性天敌或植食性害虫的优势类群类。

采用 Excel 2017 对试验数据进行汇总整理与计算以及 SPSS 22.0 进行简单的线性回归 t 检验差异显著性检验，应用 Kendall 关联性系数（Correlation coefficient, r ）计算优势天敌类群在备选功能植物上与植食性害虫间的线性关系指数，若两者呈正相关， r 呈正值， $r = 1$ 时为完全正相关，若两者呈负相关则 r 呈负值，而 $r = -1$ 时为完全负相关。采用 Origin 2019 软件绘制相关性热图。

2 结果与分析

2.1 功能植物上节肢动物种类及数量

试验通过目测和网捕法合计共收集到节肢动物共 54 888 头，其中捕食性天敌异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 1 571 头、七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* 1 013 头、多异瓢虫 *Hippodamia variegata* 896 头、中华通草蛉 *Chrysoperla sinica* 3 326 头、东亚小花蝽 *Orius sauteri* 893 头和三突花蛛 *Misumenopos tricuspidatus* 868 头。收集到植食性害虫主要包括烟粉虱 *Bemisia tabaci* 21 164 头、花蓟马 *Frankliniella intonsa* 5 176 头、桃蚜 *Myzus persicae* 3 932 头、棉蚜 *Aphis gossypii* 3 789 头、小长蝽 *Nysius ericae* 2 561 头、苹果黄蚜 *Aphis citricola* 2 475 头、西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 2 182 头、绿盲蝽 *Apolygus lucorum* 1 910 头、中黑盲蝽 *Adelphocoris suturalis* 1 713 头和三黑盲蝽 *Adelphocoris fasciaticollis* 1 419 头。

通过比较不同功能植物上捕食性天敌累积量

发现,排序依次是芥蓝、紫花苜蓿、罗勒、绿豆、芝麻、蓖麻、南瓜、万寿菊、洋甘菊、向日葵、苘麻、矢车菊、茛苳、百里香、牛至、刺儿菜(杂草)(图1-A)。同时发现草蛉和瓢虫的种群累积量占据优势,其中草蛉种群数量占捕食性天敌种群总量的38.8%,瓢虫种群数量占40.6%。尤其发现罗勒、紫花苜蓿、芝麻、绿豆、洋甘菊和蓖麻这6种植物上草蛉种群具显著优势(数量均可达200头以上),在紫花苜蓿、绿豆、蓖麻、芥蓝和南瓜这5种植物上瓢虫种群数量显著(数量均在150头以上)高于其他植物。

通过对植食性害虫累积量的统计分析(图1-B),发现粉虱种群累积量占据优势地位,占植食性种群总数量的45.6%,其次是蚜虫种群占总量的16.7%,植食性蝽种群占总量的16.4%,蓟马种群占总量的15.8%,均为常见类群。同时,发现苘麻、芝麻是粉虱强偏好植物,向日葵是蚜虫强偏好植物,罗勒是蓟马偏好植物,万寿菊和洋甘菊是植食性蝽强偏好植物,这些植物中植食性害虫数量占据超过77.3%。

由个体数量益害比分析(图1-C),可知绿豆、紫花苜蓿、芥蓝、蓖麻、南瓜上捕食性天敌种群数量大于植食性害虫数量(均 ≥ 1),因此相较其他植物,这5种植物可以作为较好的涵养天敌、不支持害虫的功能植物备选。

2.2 不同功能植物上捕食性天敌草蛉、瓢虫与植食性害虫的种群关系

结合图1筛选出的备选植物,由聚类热图2分析不同功能植物的优势性捕食性天敌草蛉与植食性害虫种群之间的相关性,可知:草蛉种群在芥蓝、罗勒、绿豆等植物发生与多数植食性害虫种群之间均为负相关(相关性系数在 $-0.13 \sim -0.44$),而在蓖麻、芝麻、紫花苜蓿、南瓜植物的草蛉种群与多数植食性害虫种群数量均存在正相关,尤其是蓖麻上草蛉种群发生与蓟马以及植食性蝽种群的相关性系数超过0.64(图2-A)。而其他植物如牛至、茛苳、万寿菊、百里香上草蛉种群尽管与植食性害虫相关性系数较高,但草蛉种群累积数量较少而植食性害虫累积量较多,还需要进一步调查分析。

而瓢虫种群在芥蓝、绿豆上与蓟马、捕食性蝽的种群呈现正相关性(相关性系数在 $0.12 \sim 0.57$),而与粉虱的种群呈负相关性 $= -0.47$,而蓖麻上瓢虫种群与蚜虫种群呈现高相关性(高于

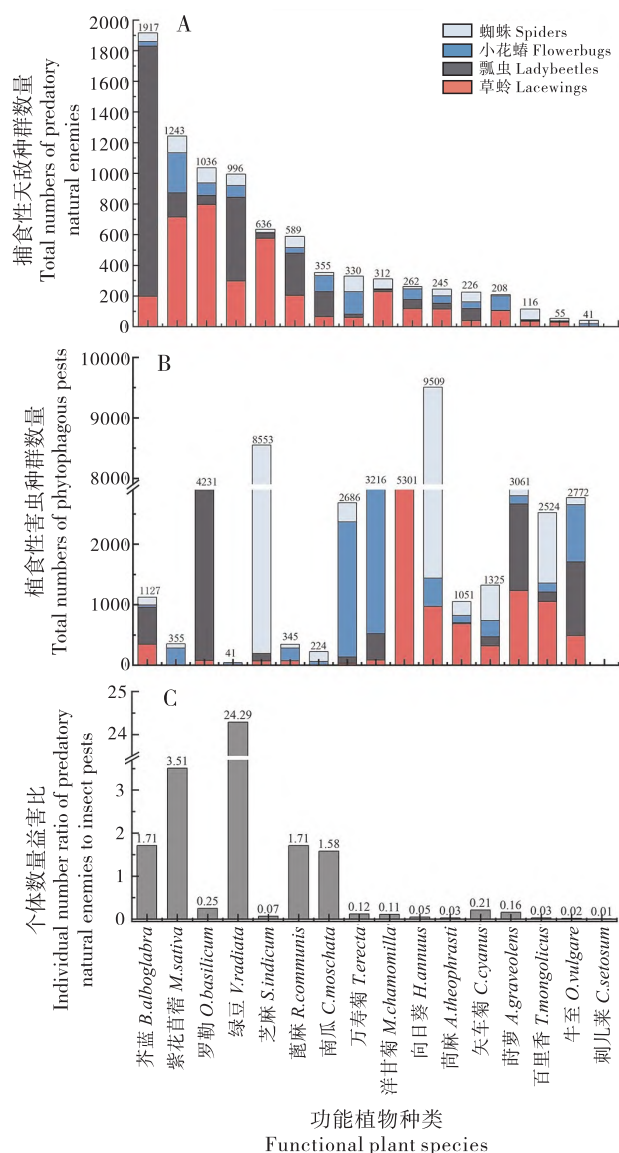


图1 功能植物上捕食性天敌、植食性害虫种群累积量及益害比

Fig. 1 Population accumulation of predatory natural enemies and phytophagous pests and predator-herbivore ratio on functional plants

注: A, 捕食性天敌种群数量; B, 植食性害虫种群数量; C, 捕食性天敌和植食性害虫种群数量益害比。
Note: A, Population accumulation of predatory natural enemies; B, Population accumulation of phytophagous pests; C, Population accumulation of predator-herbivore ratio on functional plants.

0.57)。南瓜与紫花苜蓿的瓢虫种群与多数植食性害虫种群呈现负相关(图2-B)。其他植物如苘麻、万寿菊、向日葵、茛苳的瓢虫种群与蚜虫种群尽管表现了强烈的相关性,但瓢虫累积量较少害虫累积量较多,还需要进一步调查分析。

因此，蓖麻、芝麻、紫花苜蓿、罗勒上草蛉种群与植食性害虫关系较为明确，芥蓝、绿豆、蓖麻上瓢虫种群与植食性害虫关系较为明确，这

些可以作为增效捕食性天敌草蛉、瓢虫的备选植物。

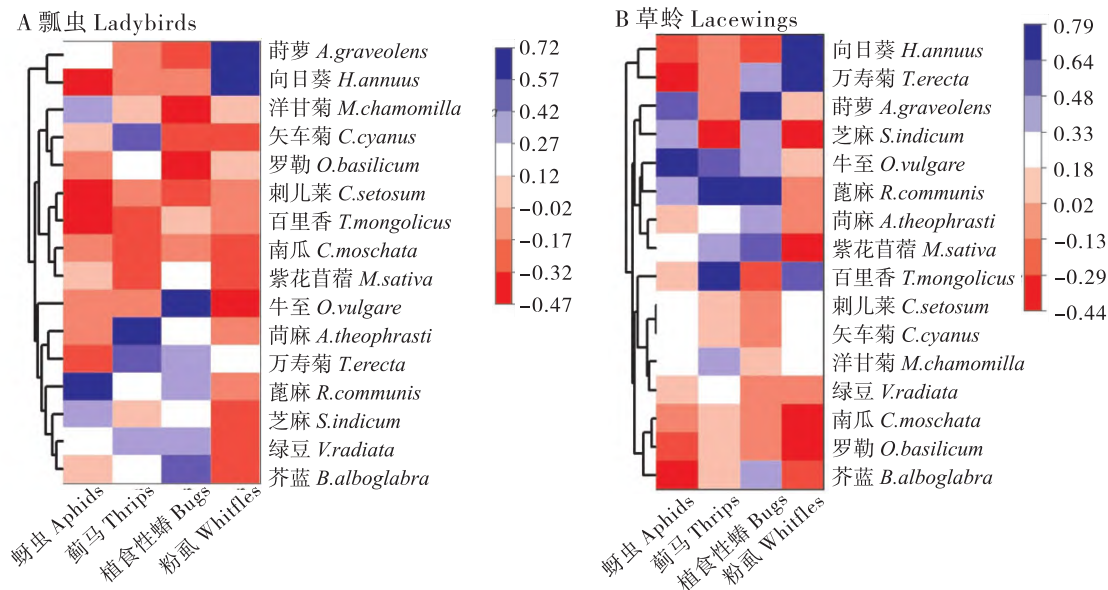


图2 功能植物上捕食性天敌草蛉、瓢虫和4种主要害虫种群相关性分析聚类热图

Fig. 2 Clustering heat map of population correlation analysis of predatory natural enemy lacewings ladybirds and four major pests on functional plants

注：A，草蛉与蚜虫、蓟马、植食性蝽和粉虱种群相关性分析聚类热图；B，瓢虫与蚜虫、蓟马、植食性蝽和粉虱种群相关性分析聚类热图。Note: A, Clustering heat map of population correlation analysis of lacewings with aphids, thrips, bugs and whitflies; B, Clustering heat map of population correlation analysis of ladybird with aphids, thrips, bugs and whitflies.

2.3 优势捕食性草蛉、瓢虫与植食性害虫的种群时序动态

为了进一步分析优势捕食性天敌草蛉、瓢虫种群与备选6种植物（芥蓝、紫花苜蓿、罗勒、绿豆、芝麻和蓖麻）上植食性害虫种群时序动态关系，结果如图3所示，捕食性天敌内草蛉种群数量高峰期在罗勒和芝麻2种植物上发生第1次高峰期在8月下旬和8月上旬，其种群数量均在120头以上（图3-C，E）。瓢虫种群数量在芥蓝、紫花苜蓿和绿豆上发生第1次高峰期时间近似，均在7月中旬，其种群数量均在300头左右（图3-A，B）。同时发现，蓖麻植物上草蛉和瓢虫高峰期均发生2次，时间近似分别6月下旬和8月上旬，但种群数量一直维持低水平，数量在20~40头以内（图3-F）。

植食性害虫种群在芥蓝、绿豆上均发生多次高峰期，种群发生数量均在100~500头以内（图3-A，D），而在紫花苜蓿、罗勒、芝麻、蓖麻上均在7月下旬8月上旬出现1次高峰期，数量均超过600头以上（图3-B，C，E，F）。

由此可见，在芥蓝上优势性天敌瓢虫种群与植食性害虫种群存在此消彼长关系，而在紫花苜蓿和绿豆上瓢虫种群高峰期仅出现1次与植食性害虫波动发生动态相关性不明显，表明可能有其他影响因素发生作用。而罗勒和芝麻上优势性天敌草蛉的种群发生均在植食性害虫种群高峰期后，表现为天敌种群的滞后效应。

综合天敌发生数量、个体数量益害比、优势天敌草蛉、瓢虫与植食性害虫种群相关性及时序动态等指标，通过与其他植物及杂草相比，依次筛选出绿豆、紫花苜蓿、蓖麻、芥蓝、罗勒、芝麻为优势天敌草蛉、瓢虫的增效功能植物。

3 结论与讨论

草蛉科和瓢虫科昆虫是农林生态系统中重要的捕食性天敌。1742年Réaumur首次讨论了草蛉作为温室蚜虫生防天敌昆虫的效能（Senior and McEwen, 2001; Pappas et al., 2011），至20世纪70年代，草蛉才开始应用于我国的害虫生防（杨

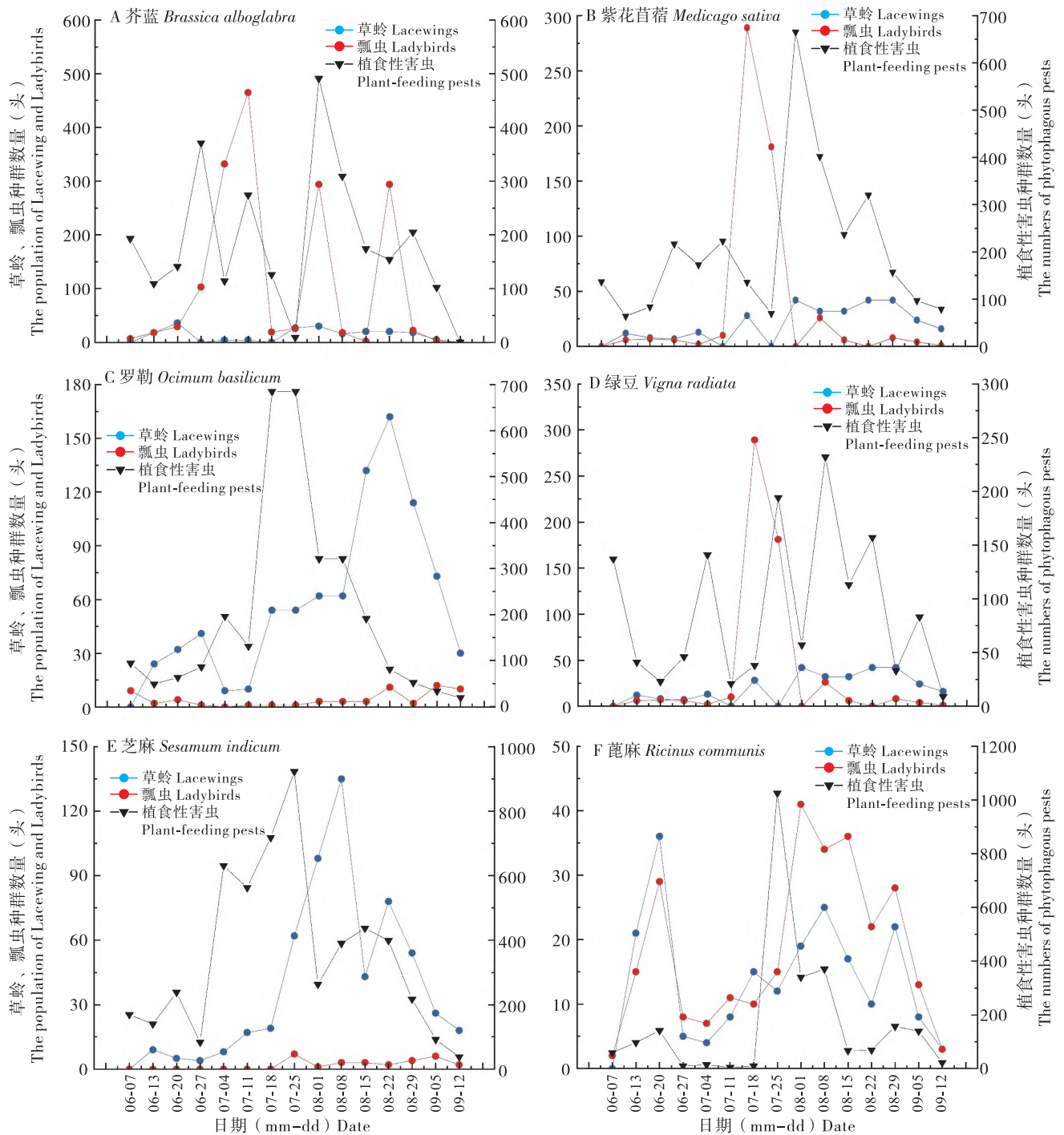


图3 6种功能植物上草蛉、瓢虫与植食性害虫种群动态变化

Fig. 3 Population dynamics of lacewing, ladybird and phytophagous pests on six of functional plants

星科等, 2005)。大草蛉 *Chrysopa pallens*、异色瓢虫和七星瓢虫在中国分布区较广, 对多种蚜虫具有很好的控制作用, 在生物防治中发挥着重要的作用。因此, 选择对草蛉、瓢虫具有诱集、增效作用的功能植物, 对于充分发挥和利用天敌的可持续控害作用, 增强生境中各种作物害虫生态调控起到积极的作用。本研究通过田间调查, 综合

比较 15 种功能植物上节肢动物种群动态、个体数量益害比、优势天敌草蛉、瓢虫与植食性害虫种群相关性及时序动态等指标初步表征, 与其他植物相比, 绿豆、紫花苜蓿、蓖麻、芥蓝、罗勒、芝麻可以作为天敌增效害虫生物防治的功能植物。

天敌昆虫通过利用植物挥发物进行搜寻、产

卵、逃避、取食、聚集等行为，依靠灵敏的嗅觉识别机制可简化复杂的气味环境并做出反应（盛子耀等，2019；王冰等，2021）。一方面是植物本身挥发性气味物质的诱集特性，汪晓光等（2007）和 Qureshi *et al.*（2010）研究结果表明三叶鬼针草 *Bidens pilosa* 和紫花扁豆 *Lablab purpureus* 通过散发的挥发性物质可以吸引草蛉从而增加其群落多样性。本研究中筛选到对草蛉、瓢虫高密度发生的功能植物蓖麻、紫花苜蓿、罗勒等，其挥发物质也可能对草蛉、瓢虫具有引诱作用。这些植物在害虫暴发前期草蛉和瓢虫种群就发生高峰期，说明对这些植物的偏好性因不同时期有显著差异，这与应与其挥发物质不同有关可能有助于天敌取食、遮蔽或产卵等行为（杨亚洁等，2023）。此外，功能植物上的植食性害虫种群所产生的虫害诱导挥发物质对天敌也会产生影响。陈荣和冯军利（2014）认为被蚜虫为害后，赤松、板栗、麻栎、栎树和荆条所释放的挥发性次生物质对丽草蛉 *Chrysopa formosa* 有诱集作用。本研究中筛选到罗勒和芝麻植物在害虫暴发后期草蛉和瓢虫种群就发生高峰期，这应与植物被害虫危害后产生的挥发物质对草蛉和瓢虫有引诱作用。后续可利用行为学、电生理学等化学生态学研究技术，进一步深入研究。

本研究 15 种供试植物均为本地种、易获得、种植管理简单。本研究发现草蛉和瓢虫种群数量高时处于植物花期，如草蛉和瓢虫的高峰期基本持续在 6 月下旬和 8 月下中旬，有研究证明了这一点，一些天敌昆虫的发生与植物的花期吻合程度较高，花期越长，对天敌的发生也就越有利（Pumariño *et al.*，2012）。紫花苜蓿作为苹果园覆盖物对瓢虫和小花蝽种群密度均有增效，特别是在紫花苜蓿开花时，如果同时受到化学杀虫剂喷洒干扰时，覆盖作物能为瓢虫提供临时庇护所，有利于其种群恢复（张硕等，2020；Li *et al.*，2021）。

蓖麻、矢车菊、洋甘菊和罗勒等植物还有强烈的挥发性芳香气味。植物花的形态和花粉的产量显著影响草蛉成虫对植物的偏好性（Herrera *et al.*，2019）。有研究发现，开花期罗勒植株，在草蛉面对不足的猎物时，可显著吸引草蛉雌成虫，其花粉或花蜜作为补充食物用于草蛉成虫和幼虫的生长繁殖（Batista *et al.*，2017；Fang *et al.*，2022）。本研究结果还发现在紫花苜蓿、罗勒、绿豆和芝麻 4 种植物上捕食性天敌草蛉和瓢虫种群

数量和植食性害数量相对较多，这可能是因为这几种功能植物能够涵养充足蜜源、蚜虫等猎物。研究证明草蛉成虫多以花粉、花蜜为食，需要蜜源丰富的杂草满足自身营养，同时又需要蚜虫等猎物丰富的杂草作为产卵地，因此，蚜虫等猎物以及蜜源丰富的植物是草蛉理想的增效植物，对其生境选择起着重要作用（刘阳天等，2021）。王云鹏（2020）在绿豆成熟期观察到天敌发生量上升，从而有效控制并降低害虫发生量。尽管本研究中发现南瓜的益害比较高，但植食性害虫较少，与瓢虫、草蛉等天敌的关系并不明确，后续需要进一步试验探究是否有蜜源增效了吸引瓢虫。功能植物对天敌的诱集、涵养增效作用可能来自于多方面，包括其挥发物质、花的营养、花色以及所吸引的植食性害虫种群的营养及其虫害挥发物质等。因此，明确这些增效作用来源，有助于筛选功能植物。

同时，结合捕食性天敌在不同植物上的发生情况，在农业生产实践中，可在农田周边种植对草蛉、瓢虫发生有增效的候选功能植物，设置相应的开花植物条带作为蜜源和诱集带，或者将功能植物与小麦、玉米、花生、大豆等瓢虫发生量较低的作物进行间作套种，营造有利于瓢虫发生的农田生境，以增加其种群数量，促进对农田害虫的生态调控（孙梦潇等，2019；Li *et al.*，2021）。研究发现万寿菊作为一种伴生植物有助于减少害虫的数量（Silva *et al.*，2021）。由此可见，功能植物的存在往往可以提升相邻农田内天敌昆虫的多样性与丰富度，有着巨大的害虫防治应用价值（Letourneau *et al.*，2011；Paredes *et al.*，2019）。

本研究通过人工栽培方式系统调查了捕食性天敌在不同功能植物上的发生密度，也发现少量寄生性天敌，着重分析初步明确了适宜北方主要捕食性天敌发生量较高、害虫发生量较低的植物类群。由于寄生性天敌的种群特性和生态学特征与捕食性天敌差异较大，比如前者对功能植物花的结构有明显选择性，比如对复伞形花序更偏好（朱平阳等，2021），所适宜的功能植物有待进一步研究。综合当地生产实际需求、作物种植现状等因素遴选适宜的候选功能植物，构建多种花期交叉及包含替代猎物的植物带支持体系，促进草蛉、瓢虫等捕食性天敌在农田系统中的保育及控害功能。

参考文献 (References)

- Batista MC, Fonseca MCM, Teodoro AV, *et al.* Basil (*Ocimum basilicum* L.) attracts and benefits the green lacewing *Ceraeochrysa cubana* Hagen [J]. *Biological Control*, 2017, 110: 98–106.
- Chen R, Feng JL. Study on behavioral response of different host plant and prey of *Chrysopa formosa* Brauer [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2014, 13: 128–129. [陈荣, 冯军利. 丽草蛉对不同寄主植物和猎物的趋性行为反应研究 [J]. 现代农业科技, 2014, 13: 128–129]
- 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]
- 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]
- Fang Y, Li S, Xu QX, *et al.* Optimizing the use of basil as a functional plant for the biological control of aphids by *Chrysopa pallens* (Neuroptera: Chrysopidae) in greenhouses [J]. *Insects*, 2022, 13 (6): 552.
- Fang Y, Wang J, Qin Y, *et al.* Effect of *Cosmos bipinnata* on the population dynamics of predator natural enemies [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2021, 37 (5): 877–884. [方艳, 王杰, 覃杨, 等. 蜜源植物波斯菊对捕食性天敌种群动态的影响 [J]. 中国生物防治学报, 2021, 37 (5): 877–884]
- Folukemi A, Yong-Lak P. Visual and olfactory preference of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) adults to various companion plants [J]. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2010, 13 (4): 319–323.
- Gurr GM, Liu J, Read D, *et al.* Parasitoids of Asian rice planthopper (Hemiptera: Delphacidae) pests and prospects for enhancing biological control by ecological engineering [J]. *Annals of Applied Biology*, 2015, 158 (2): 149–176.
- Gurr GM, Wratten SD, Landis DA, *et al.* Habitat management to suppress pest populations: Progress and prospects [J]. *Annual Review of Entomology*, 2017, 62: 91–109.
- Herrera RA, Ruanob F, Ramírez CG, *et al.* Attraction of green lacewings (Neuroptera: Chrysopidae) to native plants used as ground cover in woody Mediterranean agroecosystems [J]. *Biological Control*, 2019, 139: 104066.
- Klaus L, Susanne W. Optical releasers of innate proboscis extension in the hoverfly *Eristalis tenax* L. (Diptera: Syrphidae) [J]. *Journal of Comparative Physiology*, 1994, 174 (5): 575–579.
- Koczor S, Szentkirályi F, Tóth M. New perspectives for simultaneous attraction of *Chrysoperla* and *Chrysopa* lacewing species for enhanced biological control (Neuroptera: Chrysopidae) [J]. *Scientific Reports*, 2019, 9: 10303.
- Landis DA, Wratten SD, Gurr GM. Habitat management conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture [J]. *Annual Review of Entomology*, 2000, 45: 175–201.
- Letourneau DK, Armbrrecht I, Rivera BS, *et al.* Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review [J]. *Ecological Applications*, 2011, 21 (1): 9–21.
- Li S, Jaworski C, Hatt S, *et al.* Flower strips adjacent to greenhouses help reduce pest populations and insecticide applications inside organic commercial greenhouses [J]. *Journal of Pest Science*, 2021, 94 (3): 679–689.
- Li S, Wang J, Huang NX, *et al.* Research progress and prospect on banker plant systems of predators for biological control [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53 (19): 3975–3987. [李姝, 王杰, 黄宁兴, 等. 捕食性天敌储蓄植物系统研究进展与展望 [J]. 中国农业科学, 2020, 53 (19): 3975–3987]
- Liang YY, Chen X, Dai HJ, *et al.* Flower provision reduces intraguild predation between predators and increases aphid biocontrol in tomato [J]. *Journal of Pest Science*, 2022, 95: 461–472.
- Liu M, Zhang CR, Ban FX, *et al.* Control of tea pests by the banker plant system of *Orius strigicollis* – *Vicia faba* – *Aphis fabae* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2021, 37 (5): 936–945. [刘梅, 张昌容, 班菲雪, 等. 南方小花蝽-蚕豆-蚕豆蚜载体植物系统对茶叶害虫的控制效果 [J]. 中国生物防治学报, 2021, 37 (5): 936–945]
- Liu YT, Liu B, Li H, *et al.* Lacewing density and dynamics on different weeds in cotton-growing region of Northern Xinjiang [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2021, 37 (4): 671–678. [刘阳天, 刘冰, 李辉, 等. 北疆棉区不同杂草上草蛉发生密度及季节消长 [J]. 中国生物防治学报, 2021, 37 (4): 671–678]
- Lu YH, Liang Q, Zheng XS, *et al.* Effects of trap plant Vetiver Grass (*Vetiveria zizanioides*) on nutritional and digestive enzyme activities of Pink Stem Borer (*Sesamia inferens*) larvae [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2017, 33 (5): 719–724. [鲁艳辉, 梁齐, 郑许松, 等. 诱集植物香根草对大螟幼虫营养作用及消化酶的影响 [J]. 中国生物防治学报, 2017, 33 (5): 719–724]
- Lucchi A, Loni A, Gandini L, *et al.* Using herbivore-induced plant volatiles to attract lacewings, hoverflies and parasitoid wasps in vineyards: Achievements and constraints [J]. *Bulletin of Insectology*, 2017, 70: 273–282.
- Ma YY, Zhang F, Wang S, *et al.* Synergistic effect of functional plant *Calendula officinalis* (Asterales: Asteraceae) to the colonization of *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) in greenhouse [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (2): 276–282. [马亚云, 张帆, 王甦, 等. 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]
- Pappas ML, Broufas GD, Koveos DS. *Chrysopid* predators and their role in biological control [J]. *Journal of Entomology*, 2011, 8: 301–326.
- Paredes D, Karp DS, Chaplin-Kramer R, *et al.* Natural habitat increases natural pest control in olive groves: Economic implications [J]. *Journal of Pest Science*, 2019, 92 (3): 1111–1121.
- Payton MTL, Rebek EJ. Banker plants for aphid biological control in greenhouses [J]. *Journal of Integrated Pest Management*, 2018, 9 (1): 1–8.
- Pumariño L, Alomar O, Lundgren JG. Effects of floral and extrafloral

- resource diversity on the fitness of an omnivorous bug, *Orius insidiosus* [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2012, 145 (3): 181–190.
- Qureshi SA, Midmore DJ, Syeda SS, *et al.* A comparison of alternative plant mixes for conservation bio-control by native beneficial arthropods in vegetable cropping systems in Queensland Australia [J]. *Bulletin of Entomological Research*, 2010, 100: 67–73.
- Senior LJ, McEwen PK. The Use of Lacewings in Biological Control [D]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 296–302.
- Sheng ZY, Li WZ, Yuan GH. Research progress on the relationship between plant odor diversity and insects [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2019, 56 (4): 652–661. [盛子耀, 李为争, 原国辉. 植物气味多样性与昆虫关系的研究进展 [J]. 应用昆虫学报, 2019, 56 (4): 652–661]
- Silva VFD, Santos A Dos, Paterno SL, *et al.* Push-pull cropping system promotes the abundance and richness of natural enemies and reduction of pests in brassica vegetable crops [J]. *Biological Control*, 2021, 166: 104832.
- Sun MX, Huang DD, Zhang J, *et al.* Dynamic effect of intercropping *Ocimum basilicum* arthropod functional community in apple orchard [J]. *Journal of Beijing University of Agricultural*, 2019, 34 (4): 82–88. [孙梦潇, 黄丹丹, 张杰, 等. 苹果园间作罗勒节肢动物功能群落的时序特征 [J]. 北京农学院学报, 2019, 34 (4): 82–88]
- Thomson G, Knudsen GK. Semiochemicals and habitat manipulation to support green lacewing activity to reduce aphid infestations in agroecosystems [J]. *Basic and Applied Ecology*, 2021, 51 (104): 30–42.
- Waite MO, Scott-Dupree CD, Brownbridge M, *et al.* Evaluation of seven plant species/cultivars for their suitability as banker plants *Foriorius insidiosus* (Say) [J]. *Bio Control*, 2014, 59 (1): 79–87.
- Wang B, Li HM, Cao HQ, *et al.* Mechanism and application of tertiary trophic interactions between plants, herbivorous insects and natural enemies mediated by volatile compounds [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54 (8): 1653–1672. [王冰, 李慧敏, 操海群, 等. 挥发性化合物介导的植物-植食性昆虫-天敌三级营养级互作机制及应用 [J]. 中国农业科学, 2021, 54 (8): 1653–1672]
- Wang XG, Wei YP, Jiang YL. Studies on the diversity of green lacewing communities in the orchards of Loess Plateau area in Shaanxi Province [J]. *Journal of Xibei Agriculture*, 2007, 16 (2): 253–256. [汪晓光, 魏永平, 蒋月丽. 陕西黄土高原果园草蛉群落多样性的研究 [J]. 西北农业学报, 2007, 16 (2): 253–256]
- Wang YP. Effects of Maize-Mung Bean Intercropping Pattern on the Occurrence of Pests and Natural Enemies on Maize and Mung Bean [D]. Shandong: Shandong Agricultural University Master Thesis, 2020. [王云鹏. 玉米-绿豆间作方式对玉米和绿豆害虫及天敌发生的影响 [D]. 山东: 山东农业大学硕士论文, 2020]
- Wang YT, Ji XH, Wu YS, *et al.* Research progress of cover crop in Chinese orchard [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26 (6): 1892–1900. [王艳廷, 冀晓昊, 吴玉森, 等. 我国果园生草的研究进展 [J]. 应用生态学报, 2015, 26 (6): 1892–1900]
- Wu CB, Liu FY, Liu JX, *et al.* Role of *Lagopsis supine* in conserving the arthropod natural enemies of pests [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2022, 59 (2): 303–310. [吴长兵, 刘飞宇, 刘俊秀, 等. 夏至草对天敌昆虫控害能力的促进作用 [J]. 应用昆虫学报, 2022, 59 (2): 303–310]
- Wu YK, Liu B, Pan HS, *et al.* Population densities of *Orius* spp. on different plant species [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2019, 35 (4): 527–535. [吴月坤, 刘冰, 潘洪生, 等. 小花蝽在不同植物上的种群密度 [J]. 中国生物防治学报, 2019, 35 (4): 527–535]
- 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]
- Xue ZG, Peng TX, Liu B, *et al.* Licorice strips enhance predator-mediated biological control in China's cotton crop [J]. *Pest Management Science*, 2023, 79 (2): 781–791.
- Yang QF, Ou YF, Men XY, *et al.* Functional plants: Current uses and future research [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2020, 57 (1): 41–48. [杨泉峰, 欧阳芳, 门兴元, 等. 功能植物的作用原理、方式及研究展望 [J]. 应用昆虫学报, 2020, 57 (1): 41–48]
- Yang XK, Yang JK, Li WZ. Fauna Sinica Insecta [M]. Beijing: Science Press, 2005: 1–44. [杨星科, 杨集昆, 李文柱. 中国动物志 [M]. 北京: 科学出版社, 2005: 1–44]
- Yang YF, Yang H, Yang F, *et al.* Ecological regulation effectiveness of habitat heterogeneity on predatory natural enemies and rice pests in rice paddy fields [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2019, 62 (7): 857–867. [刘雨芳, 杨荷, 阳菲, 等. 生境异质度对稻田捕食性天敌及水稻害虫的生态调节有效性 [J]. 昆虫学报, 2019, 62 (7): 857–867]
- Yang YJ, Li S, Fang Y, *et al.* Olfactory behavioral response of *Chrysopa pallens* to aromatic plant *Ocimum basilicum* and its major volatiles in different periods [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2023, 45 (4): 1063–1071. [杨亚洁, 李姝, 方艳等. 大草蛉对不同时期芳香植物甜罗勒及其主要挥发物质的嗅觉行为反应 [J]. 环境昆虫学报, 2023, 45 (4): 1063–1071]
- Zhang CR, Ban FX, Shang XL, *et al.* Evaluation of five plant species for their suitability as banker plant for *Orius similis* (Zheng) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2021, 43 (4): 1010–1015. [张昌容, 班菲雪, 尚小丽, 等. 五种植物作为南方小花蝽蓄植物的适合性评价 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (4): 1010–1015]
- Zhang S, Chen P, Chen BJ, *et al.* Effects of grass pattern with multi-nectariferous plants on pests and natural enemies in apple [J]. *China Fruits*, 2020, 203 (3): 47–51. [张硕, 陈鹏, 迟宝杰, 等. 多蜜源植物生草组合对苹果害虫和天敌的影响 [J]. 中国果树, 2020, 203 (3): 47–51]
- Zhu PY, Gao HY, Zhang FC, *et al.* Exploring the shared ecological traits of nectary plants for promoting parasitism of parasitoids [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2021, 37 (5): 892–903. [朱平阳, 高慧颖, 张发成等. 探索促进寄生蜂生殖力的蜜源植物共性特征 [J]. 中国生物防治学报, 2021, 37 (5): 892–903]