

功能植物蛇床草和蚕豆协同涵养 麦田捕食性天敌的效果评价*

刘晓微** 鲁艳辉 杨亚军 徐红星 吕仲贤***

(浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所, 杭州 310021)

摘要 【目的】评估功能植物蛇床草 *Cnidium monnieri* 和蚕豆 *Vicia faba* 在麦田中对捕食性天敌的协同涵养效果及其在可持续害虫综合治理中的应用潜力, 为麦稻轮作体系中功能植物的应用提供科学依据。【方法】在浙江德清和嘉善 2 个基地开展田间试验, 比较了蛇床草与蚕豆间作、单一蛇床草种植及无处理对照 3 种处理对捕食性天敌种群数量的影响。【结果】蛇床草与蚕豆间作的功能植物带对食蚜蝇 (尤其是黑带食蚜蝇 *Episyrphus balteatus* 和宽带细腹食蚜蝇 *Sphaerophoria macrogaster* 的吸引效果显著优于单一蛇床草处理 ($P < 0.05$), 间作处理功能植物带上食蚜蝇种群数量较单一蛇床草处理提升 37.1% 以上; 蜘蛛和瓢虫的种群数量在 2 种功能植物处理间差异较小, 但均显著高于对照 ($P < 0.05$)。在小麦-水稻过渡期, 蛇床草与蚕豆间作的田埂上捕食性天敌的种群数量较单一蛇床草处理提升 49.4%。【结论】功能植物带不仅在小麦生长季能够涵养天敌, 还能在小麦收割后继续为天敌提供栖息场所, 具有较好的天敌保育及维持作用。

关键词 功能植物; 捕食性天敌; 生态防控; 可持续防治; 稻麦轮作

Evaluation of the synergistic effects of functional plants *Cnidium monnieri* and *Vicia faba* on conserving predatory natural enemies in wheat fields

LIU Xiao-Wei** LU Yan-Hui YANG Ya-Jun XU Hong-Xing LÜ Zhong-Xian***

(Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China)

Abstract 【Aim】To evaluate the synergistic effects of the functional plants *Cnidium monnieri* and *Vicia faba* on the conservation of predatory natural enemies in wheat fields, as well as their potential application in sustainable integrated pest management, to provide a scientific basis for the application of functional plants in wheat-rice rotation systems. 【Methods】Field experiments were conducted at two sites in Zhejiang Province; Deqing and Jiashan. The effects of three different treatments; intercropping *C. monnieri* with *V. faba*, a *C. monnieri* monoculture, and a control with no treatment, on the population dynamics of predatory natural enemies, were measured and compared. 【Results】The functional plant strip intercropped with *C. monnieri* and *V. faba* was significantly more attractive to syrphid flies (particularly *Episyrphus balteatus* and *Sphaerophoria macrogaster*) compared to the *C. monnieri* monoculture ($P < 0.05$). The population of syrphid flies on the intercropped functional plant strip was increased by over 37.1% compared with the *C. monnieri* monoculture. There were only minor differences in the population of spiders and ladybugs between the two functional plant treatments, but both had significantly higher numbers of these predators than the control ($P < 0.05$). During the wheat-rice transition period, the population of predatory natural enemies on field ridges intercropped with *C. monnieri* and *V. faba* increased by 49.4% compared with the *C. monnieri* monoculture. 【Conclusion】Functional plant strips not only conserve the natural enemies of

*资助项目 Supported project: 国家重点研发计划项目 (2023YFD1400800)

**第一作者 First author, E-mail: liuxw@zaas.ac.cn

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: lvzx@zaas.ac.cn

收稿日期 Received: 2025-02-10; 接受日期 Accepted: 2025-04-21

insect pests during the wheat growing season but also continue to provide habitats for these biological control agents after the wheat harvest.

Key words functional plants; predatory natural enemies; ecological control; sustainable management; rice-wheat rotation system

小麦 *Triticum aestivum* 是世界上重要的粮食作物, 亦是我国三大主粮之一, 其安全生产对于保障国民健康与经济稳定具有至关重要的意义。然而, 狄草谷网蚜 *Sitobion miscanthi*、禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi* 等害虫的重发频发是威胁小麦稳产高产的重要限制因素 (Bühler and Schweiger, 2024; Qonaah et al., 2025)。目前生产中针对小麦害虫仍以化学防治为主 (Peng et al., 2021; Liu et al., 2023; Mondal et al., 2024), 但农药的不当使用导致了农业生态环境的日益恶化, 还可能对农产品的质量安全带来潜在风险 (Pretty, 2018; 杨普云等, 2018)。因此, 如何在确保小麦安全生产的同时, 有效控制害虫问题并降低对环境的不良影响, 已成为我国农业可持续发展面临的关键挑战。

在农业生态系统中, 天敌昆虫发挥着不可或缺的作用, 它们是控制田间害虫种群数量的关键因子 (陈学新等, 2014; Gurr et al., 2017)。麦田作物及毗邻的非作物生境中, 多种捕食性天敌如瓢虫、蜘蛛和食蚜蝇等得以栖息。这些天敌昆虫对麦蚜展现出显著的捕食作用和控制效果, 在麦田绿色防控技术的研究与应用中显示出巨大潜力 (刘军和和禹明甫, 2013; 米莹莹等, 2024)。为确保这些天敌昆虫在生长发育及繁殖阶段能够获取充足的营养资源, 补充花粉和花蜜显得尤为关键 (王建红等, 2015)。因此, 利用功能植物为天敌昆虫提供丰富营养和替代食物的保护性生物防治策略日益受到重视 (Gurr et al., 2016; Redlich et al., 2018; 戈峰, 2020; 杨泉峰等, 2020; Zaviezo and Muñoz, 2023)。例如, 在稻田田埂或周边种植万寿菊、芝麻、一点红和长柄菊可以延长黑肩绿盲蝽 *Cyrtorhinus lividipennis* 的寿命, 增加其对褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 若虫的捕食量 (Zhu et al., 2014); 波斯菊对捕食性天敌有较好的诱集涵养作用, 能够促进瓢虫种

群的增长并相应降低蚜虫的数量 (方艳等, 2021); 在玉米田周边种植茛苳菜, 可为寄生蜂、食蚜蝇和瓢虫等天敌昆虫提供持续的营养补充, 维持天敌昆虫的种群 (苏文雯等, 2020); 番茄植株周边种植金盏菊对七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* 诱集助迁、温室内定殖及控害效果均有增效作用 (马亚云等, 2019)。通过生境管理措施对天敌资源进行保护, 可以提升农田生态系统的自然控害能力, 降低农业生产对化学农药的依赖性, 促进农业绿色可持续发展。

以功能植物为主体的非作物生境, 不仅能为天敌昆虫提供适宜的食物资源, 从而增加天敌昆虫的种群数量, 还能在不利条件下为其提供庇护场所 (孙玉荣等, 2017; 杨泉峰等, 2020)。然而, 鉴于生态系统的复杂性, 若功能植物选择不当, 可能会成为病虫害的滋生温床。因此, 筛选适宜的功能植物一直是害虫生态调控研究领域的热点议题。研究表明, 蛇床草能助力瓢虫类捕食性天敌提前迁入, 所富含的天敌在害虫发生时迁入麦田控制麦蚜, 在小麦收获后可作为天敌的栖息场所, 具有很好的天敌保育及维持作用 (杨泉峰等, 2018)。在小麦-玉米轮作田中种植蛇床草可周年涵养天敌瓢虫, 进而有效减少小麦蚜虫和玉米蚜虫的发生量, 起到了良好的生态防控效果 (梁潇以等, 2025)。茶园中种植蚕豆可涵养南方小花蝽 *Orius similis*, 对茶叶害虫小贯小绿叶蝉 *Empoasca onukii* 有显著的防治效果 (刘梅等, 2021)。因此, 本研究选择蛇床草作为主要研究对象, 并挑选了开花时间与小麦生育期相匹配的蚕豆作为辅助植物进行田间试验, 评估了蛇床草与蚕豆共同作用下对捕食性天敌的增殖效应及其在可持续害虫管理中的潜力, 以期在麦稻轮作体系中小麦生长季种植功能植物以涵养天敌, 进而实现保护性生物防治提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试验地点

试验所用蛇床草种子来自于山东省农业科学院植物保护研究所,蚕豆种子来自于浙江省农业科学院作物与核技术利用研究所。

本研究于 2023-2024 年在浙江省湖州市德清县新安镇下舍村 (30°34'N, 120°11'E) 和嘉兴市嘉善县西塘镇红菱村 (30°58'N, 120°52'E) 麦稻轮作田进行。

1.2 试验设计与方法

1.2.1 试验小区设计 本研究共设置 3 种处理,包括在麦田两侧边缘分别进行蛇床草与蚕豆间作、单一蛇床草种植以及无处理对照。德清基地试验田每个小区面积为 30 m × 80 m,嘉善基地试验田每个小区面积为 60 m × 80 m,不同处理区域之间间隔 20 m 以上。功能植物带的宽度为 1 m,蛇床草与蚕豆间种处理采用每条带两侧各 1 行蚕豆、中间 3 行蛇床草的种植模式,单一蛇床草处理则采用每条带 3 行蛇床草的种植模式,行距为 20 cm,株距为 30 cm。每个处理重复 3 次,即种植 3 个小区。功能植物和小麦的播种时间均为 2023 年 11 月,所有处理区和对照区的管理措施均按照麦田常规管理进行,试验全程不使用杀虫剂。

1.2.2 捕食性天敌调查 小麦生长季:分别在功能植物带及距离功能植物带 5、15 (德清和嘉善基地) 和 30 m (仅嘉善基地) 的麦田设置马氏网,悬挂高度要求顶部距离地面 1.5 m,整体网体垂直固定,开口方向朝向功能植物带。马氏网主体呈帐篷状,上顶长 1.8 m,下底长 1.6 m,高度 1.7 m,顶部逐渐收窄并连接 500 mL 收集瓶,网布采用白色细密网纱 (100 目)。每 14 d 采集一次样品,于 2024 年 4 月底开始,共调查 2 次。小麦-水稻过渡期:小麦收割期间在种植功能植物的田埂上设置马氏网,每 14-30 d 采集一次样品,共调查 3-4 次。采集的样品保存于 99% 酒精中,并在实验室利用显微镜 (OLYMPUS SZ61) 观察及文献资料对照进行物种鉴定。同时记录调

查期间的气温、降水量等气候数据。

1.3 数据分析

采用 R 4.0.2、GraphPad Prism 9.0 和 Excel 16.7 软件对试验数据进行统计分析。在 R 4.0.2 软件中,使用 stats 包对数据进行柯尔莫戈洛夫-斯米诺夫检验 (Kolmogorov-Smirnov test),验证各组数据的正态性 ($P > 0.05$),若数据符合正态分布且方差齐性,则通过 agricolae 包中的 Tukey HSD 函数进行不同处理之间的差异显著性分析 ($P < 0.05$)。所有图表均使用 GraphPad Prism 9.0 和 Excel 16.7 软件进行绘制。

2 结果与分析

2.1 蛇床草和蚕豆对麦田捕食性天敌的协同增效作用

在德清基地试验田的功能植物带及距离功能植物带 5 和 15 m 的麦田中设置马氏网以采集捕食性天敌。采集到的捕食性天敌主要为食蚜蝇 (黑带食蚜蝇 *Episyrphus balteatus*、宽带细腹食蚜蝇 *Sphaerophoria macrogaster*、大灰优蚜蝇 *Eupeodes corollae*、梯斑墨蚜蝇 *Melanostoma scalare*)、蜘蛛 (狼蛛科 Lycosidae、管巢蛛科 Clubionidae、肖蛸科 Tetragnathidae) 和瓢虫 (龟纹瓢虫 *Propylea japonica*) (表 1)。4 月 29 日的调查结果显示,蛇床草与蚕豆间作的功能植物带上食蚜蝇的种群数量显著高于单一蛇床草处理的功能植物带 ($P < 0.01$) (图 1: A),尤其是宽带细腹食蚜蝇 ($P = 0.02$) 和大灰优蚜蝇 ($P < 0.01$) (表 1);而蜘蛛 ($P = 0.55$) (图 1: B) 和瓢虫 ($P = 0.15$) (图 1: C) 的种群数量在两种处理间无显著差异,但均高于对照。在距离蛇床草与蚕豆间作的功能植物带 5 m 的麦田中,食蚜蝇的种群数量显著高于距离单一蛇床草处理的功能植物带 5 m 的麦田 ($P = 0.02$) 和对照 ($P = 0.03$) (图 1: A)。5 月 13 日的调查结果也显示了类似趋势,食蚜蝇的种群数量排序依次为蛇床草与蚕豆间作的功能植物带、单一蛇床草处理的功能植物带、对照 (图 1: D),

表 1 不同处理对主要捕食性天敌种群数量的影响 (德清)

Table 1 The impact of different treatments on the population numbers of major predatory natural enemies (Deqing)

日期 (月.日) Date (month. day)	处理 Treatment	作用距离 (m) Effective distance (m)	天敌种类 Types of natural enemies							
			食蚜蝇 Syrphid flies			蜘蛛 Spiders		瓢虫 Ladybugs		
			黑带食蚜蝇 <i>E. balteatus</i>	宽带细腹食蚜蝇 <i>S. macrogaster</i>	大灰优蚜蝇 <i>E. corollae</i>	梯斑墨蚜蝇 <i>M. scalare</i>	狼蛛科 Lycosidae	管巢蛛科 Clubionidae	肖蛸科 Tetragnathidae	龟纹瓢虫 <i>P. japonica</i>
4.29	蛇床草+蚕豆 <i>C. monnieri</i> + <i>V. faba</i>	0	21.33 ± 4.04 a	5.67 ± 2.89 a	21.00 ± 4.00 a	2.33 ± 0.58	3.00 ± 1.00 ab	1.33 ± 0.58 a	0.67 ± 0.58	3.00 ± 1.00 a
		5	5.00 ± 2.00	1.33 ± 1.53	1.00 ± 0.00	0.67 ± 1.15	1.33 ± 0.58	0.67 ± 0.58	0.00 ± 0.00	1.00 ± 1.00
		15	2.00 ± 1.00	0.33 ± 0.58	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00 b	0.00 ± 0.00	0.33 ± 0.58	0.00 ± 0.00	0.67 ± 1.15
	蛇床草 <i>C. monnieri</i>	0	14.33 ± 2.52 a	0.33 ± 0.58 b	0.00 ± 0.00 b	0.67 ± 1.15	4.33 ± 0.58 a	1.33 ± 0.58 a	0.00 ± 0.00	1.67 ± 0.58 ab
		5	1.67 ± 0.58	0.33 ± 0.58	1.00 ± 1.00	0.00 ± 0.00	1.33 ± 0.58	1.00 ± 1.00	0.00 ± 0.00	0.33 ± 0.58
		15	0.33 ± 0.58	0.67 ± 0.58	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00 b	0.67 ± 1.15	0.33 ± 0.58	0.00 ± 0.00	1.00 ± 1.00
5.13	对照 Control	0	2.33 ± 1.53 b	0.33 ± 0.58 b	0.00 ± 0.00 b	1.33 ± 0.58	1.33 ± 0.58 b	0.00 ± 0.00 b	0.00 ± 0.00	0.33 ± 0.58 b
		5	2.33 ± 1.53	0.33 ± 0.58	0.00 ± 0.00	1.33 ± 0.58	1.33 ± 0.58	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.33 ± 0.58
		15	2.33 ± 1.53	0.33 ± 0.58	0.00 ± 0.00	1.33 ± 0.58 a	1.33 ± 0.58	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.33 ± 0.58
	蛇床草+蚕豆 <i>C. monnieri</i> + <i>V. faba</i>	0	29.67 ± 7.09 a	22.00 ± 2.00 a	8.67 ± 5.69 a	7.67 ± 2.52 a	3.00 ± 1.00 ab	4.33 ± 1.53	2.33 ± 0.58 a	2.33 ± 0.58
		5	10.67 ± 3.21 a	6.67 ± 1.53	0.00 ± 0.00	1.00 ± 1.73	2.67 ± 1.15	0.33 ± 0.58	0.33 ± 0.58	1.67 ± 0.58
		15	5.00 ± 1.00	3.67 ± 1.53	0.67 ± 1.15	1.33 ± 0.58 a	0.33 ± 0.58 b	0.67 ± 0.58	0.33 ± 0.58	0.67 ± 1.15
	蛇床草 <i>C. monnieri</i>	0	21.00 ± 3.00 a	4.67 ± 1.15 b	0.33 ± 0.58 b	7.67 ± 2.31 a	5.33 ± 2.08 a	5.33 ± 0.58	0.67 ± 1.15 ab	3.67 ± 1.53
		5	8.67 ± 1.53 ab	2.33 ± 2.08	0.00 ± 0.00	0.33 ± 0.58	3.33 ± 0.58	1.67 ± 1.15	0.00 ± 0.00	1.67 ± 0.58
		15	6.33 ± 1.15	1.00 ± 1.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00 b	2.33 ± 0.58 a	0.33 ± 0.58	0.00 ± 0.00	1.00 ± 1.00
	对照 Control	0	3.67 ± 1.15 b	2.67 ± 2.08 b	0.00 ± 0.00 b	1.33 ± 0.58 b	1.33 ± 0.58 b	1.67 ± 0.58	0.00 ± 0.00 b	1.33 ± 0.58
		5	3.67 ± 1.15 b	2.67 ± 2.08	0.00 ± 0.00	1.33 ± 0.58	1.33 ± 0.58	1.67 ± 0.58	0.00 ± 0.00	1.33 ± 0.58
		15	3.67 ± 1.15	2.67 ± 2.08	0.00 ± 0.00	1.33 ± 0.58 a	1.33 ± 0.58 ab	1.67 ± 0.58	0.00 ± 0.00	1.33 ± 0.58

数据后标有不同小写字母代表相同作用距离下不同处理 (蛇床草与蚕豆间作、单一蛇床草处理、无处理对照) 间的差异显著 ($P < 0.05$, Tukey 检验)。下表同。
Data followed by the different lowercase letters represent significant difference among different treatments (intercropping of *C. monnieri* and *V. faba*, single *C. monnieri* treatment, and untreated control) at the same effective distance ($P < 0.05$, Tukey test). The same below.

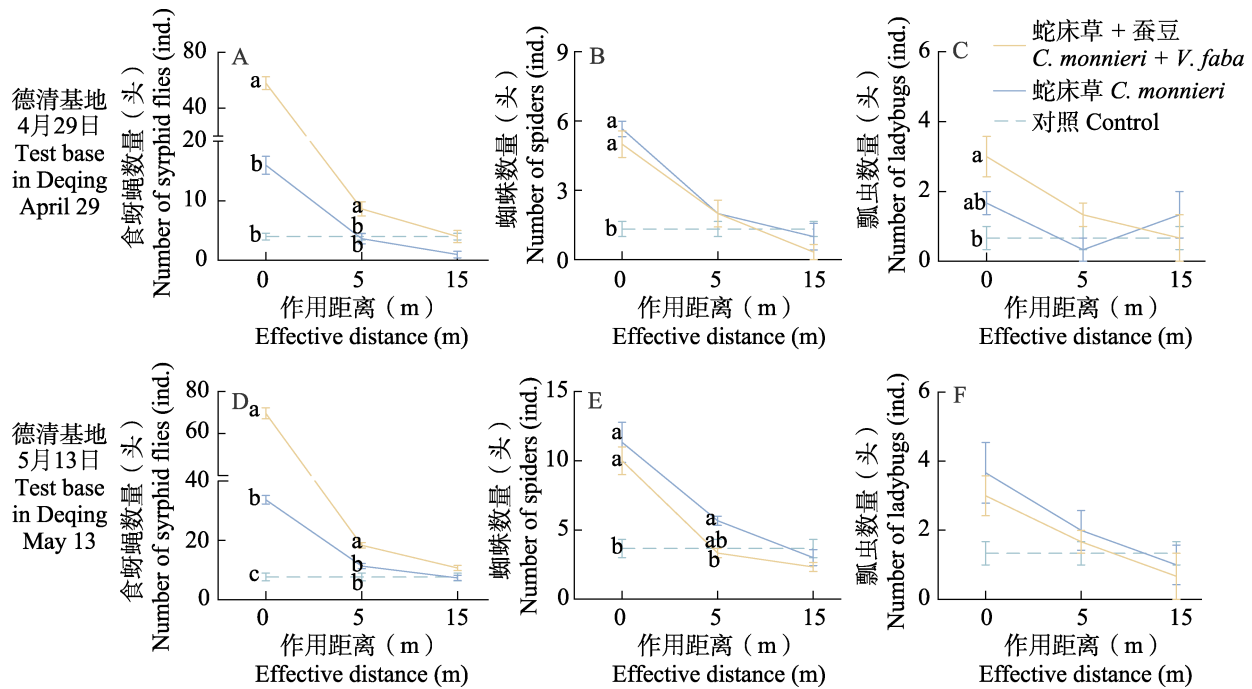


图1 不同处理上捕食性天敌的数量 (德清)

Fig. 1 The number of predatory natural enemies under different treatments (Deqing)

A. 4月29日食蚜蝇数量; B. 4月29日蜘蛛数量; C. 4月29日瓢虫数量; D. 5月13日食蚜蝇数量; E. 5月13日蜘蛛数量; F. 5月13日瓢虫数量。黄色实线代表蛇床草与蚕豆间作的功能植物带, 蓝色实线代表单一蛇床草处理, 绿色虚线代表无处理对照; 不同小写字母代表相同作用距离下不同处理之间的差异显著 ($P < 0.05$, Tukey 检验)。下同。

A. Number of syrphid flies on April 29; B. Number of spiders on April 29; C. Number of ladybugs on April 29; D. Number of syrphid flies on May 13; E. Number of spiders on May 13; F. Number of ladybugs on May 13. The yellow solid line represents the functional plant strip with intercropping of *C. monnieri* and *V. faba*, the blue solid line represents the single *C. monnieri* treatment, and the green dashed line represents the untreated control. Different lowercase letters indicate significant difference between treatments at the same functional distance ($P < 0.05$, Tukey test). The same below.

其中蛇床草与蚕豆间作的功能植物带上宽带细腹食蚜蝇 ($P < 0.01$) 和大灰优蚜蝇 ($P = 0.048$) 的种群数量显著高于单一蛇床草处理的功能植物带, 黑带食蚜蝇 ($P < 0.01$) 和梯斑墨蚜蝇 ($P = 0.02$) 的种群数量显著高于对照 (表 1); 蛇床草与蚕豆间作的功能植物带与单一蛇床草处理的功能植物带相比, 蜘蛛的种群数量无显著差异 ($P = 0.68$), 而与对照相比, 蛇床草与蚕豆间作 ($P = 0.01$) 和单一蛇床草处理 ($P < 0.01$) 的功能植物带上蜘蛛的种群数量显著增加 (图 1: E)。在距离蛇床草与蚕豆间作的功能植物带 5 m 的麦田中, 食蚜蝇 ($P < 0.01$) (图 1: D) 和蜘蛛 ($P = 0.03$) (图 1: E) 的种群数量显著高于距离单一蛇床草处理的功能植物带 5 m 的麦田。

在嘉善基地试验田的功能植物带及距离功

能植物带 5、15 和 30 m 的麦田中设置马氏网以采集捕食性天敌。采集到的捕食性天敌与德清基地相似, 主要包括食蚜蝇 (黑带食蚜蝇、宽带细腹食蚜蝇)、蜘蛛 (狼蛛科、管巢蛛科、肖蛸科) 和瓢虫 (龟纹瓢虫) (表 2)。5 月 2 日的调查结果显示, 蛇床草与蚕豆间作的功能植物带上食蚜蝇的种群数量显著高于单一蛇床草处理的功能植物带 ($P = 0.03$) 和对照 ($P < 0.01$) (图 2: A), 尤其是黑带食蚜蝇的种群数量显著高于单一蛇床草处理的功能植物带 ($P = 0.01$) 和对照 ($P < 0.01$) (表 2)。不同处理之间瓢虫 (图 2: B) 和蜘蛛 (图 2: C) 的种群数量无显著差异 ($P > 0.05$)。在距离功能植物带 5 m 的麦田中, 2 种功能植物处理之间食蚜蝇的种群数量无显著差异 ($P = 0.06$), 但均显著高于对照 ($P < 0.01$) (图 2: A)。在距离功能植物带 30 m 的麦田中,

表 2 不同处理对主要捕食性天敌种群数量的影响 (嘉善)

Table 2 The impact of different treatments on the population numbers of major predatory natural enemies (Jiashan)

日期 (月.日) Date (month. day)	处理 Treatment	作用距离 (m) Effective distance (m)	天敌种类 Types of natural enemies					
			食蚜蝇 Syrphid flies		蜘蛛 Spiders		瓢虫 Ladybugs	
			宽带细腹食蚜蝇 <i>S. macrogaster</i>	黑带食蚜蝇 <i>E. balteatus</i>	狼蛛科 Lycosidae	肖蛸科 Tetragnathidae		管巢蛛科 Clubionidae
5.2	蛇床草+蚕豆 <i>C. monnieri</i> + <i>V. faba</i>	0	3.67 ± 0.58	23.00 ± 2.65 a	1.67 ± 0.58	0.00 ± 0.00	0.67 ± 0.58	3.00 ± 1.00
		5	1.00 ± 1.00	14.67 ± 3.21 a	1.00 ± 1.00	0.00 ± 0.00	0.33 ± 0.58	1.33 ± 0.58
		15	1.00 ± 1.00	3.00 ± 1.00 ab	0.33 ± 0.58	0.00 ± 0.00	0.67 ± 0.58	0.67 ± 0.58
		30	0.33 ± 0.58	2.00 ± 0.00 b	0.33 ± 0.58	0.00 ± 0.00	0.33 ± 0.58	0.33 ± 0.58 b
	蛇床草 <i>C. monnieri</i>	0	3.33 ± 1.53	13.67 ± 3.51 b	1.00 ± 1.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	1.67 ± 0.58
		5	1.67 ± 1.53	10.33 ± 1.53 a	0.33 ± 0.58	0.33 ± 0.58	0.00 ± 0.00	3.00 ± 1.73
		15	0.67 ± 1.15	5.00 ± 1.00 a	0.00 ± 0.00	0.33 ± 0.58	0.67 ± 1.15	1.67 ± 1.53
		30	1.33 ± 1.53	10.67 ± 2.08 a	0.67 ± 1.15	0.00 ± 0.00	0.33 ± 0.58	4.00 ± 1.00 a
	对照 Control	0	1.00 ± 1.00	1.00 ± 1.00 c	0.33 ± 0.58	0.00 ± 0.00	0.67 ± 0.58	2.00 ± 1.00
		5	1.00 ± 1.00	1.00 ± 1.00 b	0.33 ± 0.58	0.00 ± 0.00	0.67 ± 0.58	2.00 ± 1.00
5.16	蛇床草+蚕豆 <i>C. monnieri</i> + <i>V. faba</i>	15	1.00 ± 1.00	1.00 ± 1.00 b	0.33 ± 0.58	0.00 ± 0.00	0.67 ± 0.58	2.00 ± 1.00
		30	1.00 ± 1.00	1.00 ± 1.00 b	0.33 ± 0.58	0.00 ± 0.00	0.67 ± 0.58	2.00 ± 1.00 ab
		0	22.00 ± 2.00 a	40.00 ± 5.57 a	1.67 ± 0.58	0.67 ± 0.58	1.00 ± 1.00	4.00 ± 1.00 a
		5	11.00 ± 2.00 a	26.33 ± 4.16 a	0.67 ± 0.58	0.33 ± 0.58	0.67 ± 0.58	3.67 ± 1.15
	蛇床草 <i>C. monnieri</i>	15	7.33 ± 2.08	14.00 ± 3.00 a	0.33 ± 0.58	0.00 ± 0.00	0.33 ± 0.58	1.00 ± 1.73
		30	10.00 ± 2.00 b	16.00 ± 3.00 b	0.67 ± 0.58	1.33 ± 0.58 a	0.33 ± 0.58	0.67 ± 1.15
		0	16.00 ± 4.36 a	12.67 ± 2.52 b	0.67 ± 1.15	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	1.00 ± 1.00 b
		5	14.33 ± 1.53 a	13.33 ± 1.15 b	0.33 ± 0.58	0.00 ± 0.00	0.33 ± 0.58	2.33 ± 0.58
	对照 Control	15	5.33 ± 2.08	12.00 ± 1.00 a	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.33 ± 0.58	2.33 ± 0.58
		30	14.67 ± 2.31 a	27.00 ± 6.08 a	1.33 ± 0.58	0.33 ± 0.58 ab	0.33 ± 0.58	2.33 ± 1.15
	对照 Control	0	6.00 ± 1.00 b	4.33 ± 2.52 b	0.33 ± 0.58	0.00 ± 0.00	1.33 ± 1.15	2.33 ± 0.58 ab
		5	6.00 ± 1.00 b	4.33 ± 2.52 c	0.33 ± 0.58	0.00 ± 0.00	1.33 ± 1.15	2.33 ± 0.58
		15	6.00 ± 1.00	4.33 ± 2.52 b	0.33 ± 0.58	0.00 ± 0.00	1.33 ± 1.15	2.33 ± 0.58
		30	6.00 ± 1.00 b	4.33 ± 2.52 c	0.33 ± 0.58	0.00 ± 0.00 b	1.33 ± 1.15	2.33 ± 0.58

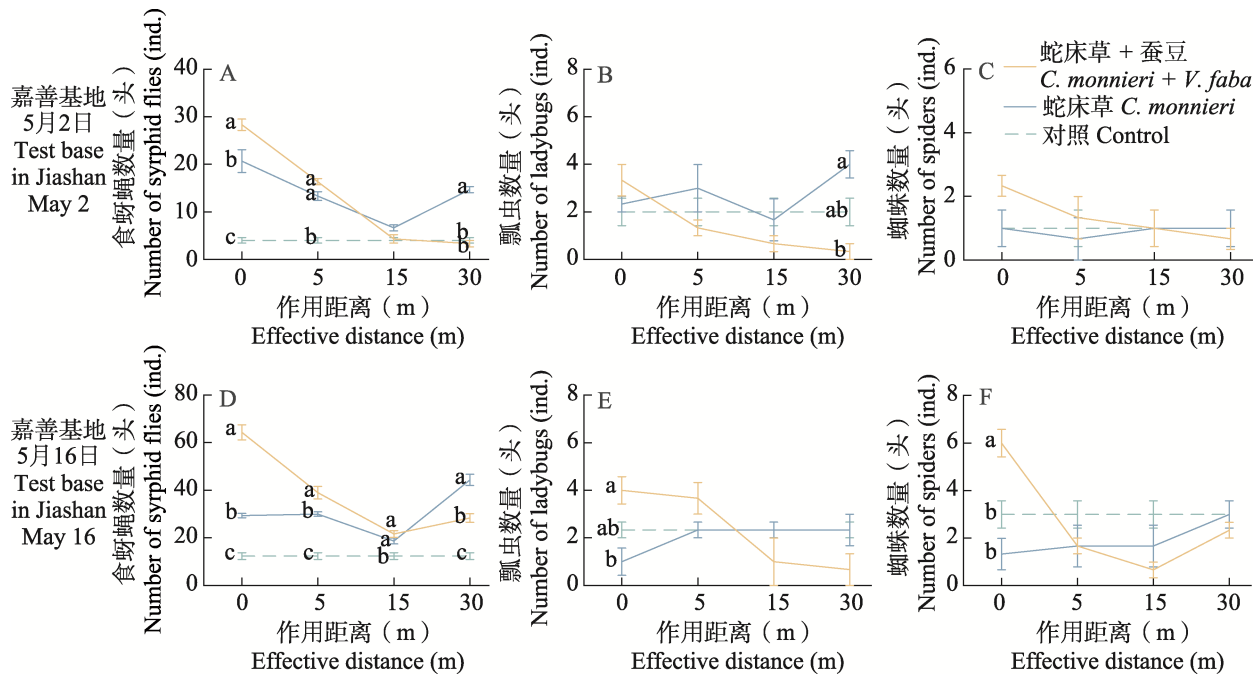


图2 不同处理上捕食性天敌的数量(嘉善)

Fig. 2 The number of predatory natural enemies under different treatments (Jiashan)

A. 5月2日食蚜蝇数量; B. 5月2日瓢虫数量; C. 5月2日蜘蛛数量; D. 5月16日食蚜蝇数量;

E. 5月16日瓢虫数量; F. 5月16日蜘蛛数量。

A. Number of syrphid flies on May 2; B. Number of ladybugs on May 2; C. Number of spiders on May 2; D. Number of syrphid flies on May 16; E. Number of ladybugs on May 16; F. Number of spiders on May 16.

单一蛇床草处理上黑带食蚜蝇 ($P < 0.01$) 和龟纹瓢虫 ($P < 0.01$) 的种群数量均显著高于蛇床草与蚕豆间作处理 (表2)。5月16日的调查结果显示, 蛇床草与蚕豆间作的功能植物带 ($P < 0.01$) 及距离功能植物带5m的麦田 ($P = 0.03$) 中食蚜蝇的种群数量均显著高于单一蛇床草处理 (图2: D), 其中黑带食蚜蝇的种群数量变化趋势与5月2日的调查结果相似, 蛇床草与蚕豆间作的功能植物带上宽带细腹食蚜蝇的种群数量显著高于单一蛇床草处理的功能植物带 ($P < 0.01$) 和对照 ($P < 0.01$) (表2)。蛇床草与蚕豆间作的功能植物带上龟纹瓢虫 ($P = 0.01$) (表2) 和蜘蛛 ($P < 0.01$) (图2: F) 的种群数量显著高于单一蛇床草处理的功能植物带。在距离功能植物带30m的麦田中, 单一蛇床草处理上食蚜蝇的种群数量显著高于蛇床草与蚕豆间作处理 ($P < 0.01$) 和对照 ($P < 0.01$) (图2: A); 蛇床草与蚕豆间作处理上肖蛸的种群数量显著高于对照 ($P = 0.03$) (表2)。

以上结果表明, 蛇床草与蚕豆间作的功能植物带对食蚜蝇的吸引效果更为显著, 相较于单一种植蛇床草的功能植物带, 间作模式在提升黑带食蚜蝇和宽带细腹食蚜蝇的种群数量方面具有更为明显的优势。

2.2 功能植物带涵养捕食性天敌的可持续利用效果

小麦开始收割后, 在德清基地试验田种植功能植物的田埂上设置马氏网, 进行了3次调查 (5月29日、7月16日和8月15日), 采集到的捕食性天敌主要包括食蚜蝇 (黑带食蚜蝇、宽带细腹食蚜蝇)、瓢虫 (龟纹瓢虫) 和蜘蛛 (管巢蛛科、狼蛛科、跳蛛科 Salticidae) (表3)。5月29日的调查结果显示, 蛇床草和蚕豆间作处理的田埂上食蚜蝇 ($P < 0.01$) (图3: A) 和蜘蛛 ($P = 0.02$) (图3: C) 的种群数量显著高于单一蛇床草处理的田埂, 尤其是黑带食蚜蝇 ($P < 0.01$)、宽带细腹食蚜蝇 ($P < 0.01$) 和狼蛛

表 3 不同处理对“小麦-水稻”过渡期田埂上主要捕食性天敌的影响
Table 3 Effects of different treatments on the main predatory natural enemies on the field ridges during the transition period of “wheat-rice”

地区 Area	日期 (月.日) Date (month. day)	天敌种类 Types of natural enemies		处理 Treatment			
				蛇床草+蚕豆 <i>C. monnieri</i> + <i>V. faba</i>	蛇床草 <i>C. monnieri</i>	对照 Control	
德清 Deqing	5.29	食蚜蝇	Syrphid flies	黑带食蚜蝇 <i>E. balteatus</i>	19.33 ± 1.53 a	13.67 ± 1.53 b	7.33 ± 0.58 c
				宽带细腹食蚜蝇 <i>S. macrogaster</i>	18.33 ± 3.06 a	5.33 ± 2.08 b	3.33 ± 0.58 b
		瓢虫	Ladybugs	龟纹瓢虫 <i>P. japonica</i>	28.33 ± 2.52 a	24.00 ± 4.00 a	10.00 ± 1.00 b
		蜘蛛	Spiders	管巢蛛科 Clubionidae	0.67 ± 0.58	0.33 ± 0.58	0.33 ± 0.58
				狼蛛科 Lycosidae	12.00 ± 1.00 a	6.67 ± 0.58 b	3.33 ± 0.58 c
				跳蛛科 Salticidae	0.67 ± 0.58	1.67 ± 0.58	0.33 ± 0.58
	7.16	食蚜蝇	Syrphid flies	黑带食蚜蝇 <i>E. balteatus</i>	2.33 ± 0.58 a	1.00 ± 1.00 ab	0.33 ± 0.58 b
				宽带细腹食蚜蝇 <i>S. macrogaster</i>	1.00 ± 1.00	0.33 ± 0.58	0.33 ± 0.58
		瓢虫	Ladybugs	龟纹瓢虫 <i>P. japonica</i>	31.00 ± 2.65 a	20.00 ± 2.00 b	5.00 ± 1.00 c
		蜘蛛	Spiders	管巢蛛科 Clubionidae	6.33 ± 1.15 a	3.33 ± 0.58 b	1.00 ± 1.00 b
				狼蛛科 Lycosidae	5.00 ± 1.00 a	5.33 ± 0.58 a	0.33 ± 0.58 b
				跳蛛科 Salticidae	2.00 ± 1.00 a	2.67 ± 0.58 a	0.00 ± 0.00 b
	8.15	食蚜蝇	Syrphid flies	黑带食蚜蝇 <i>E. balteatus</i>	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
				宽带细腹食蚜蝇 <i>S. macrogaster</i>	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
		瓢虫	Ladybugs	龟纹瓢虫 <i>P. japonica</i>	0.33 ± 0.58	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
		蜘蛛	Spiders	管巢蛛科 Clubionidae	0.67 ± 0.58	0.67 ± 0.58	0.33 ± 0.58
				狼蛛科 Lycosidae	1.33 ± 0.58	1.00 ± 1.00	0.33 ± 0.58
				跳蛛科 Salticidae	0.67 ± 0.58	1.00 ± 1.00	0.00 ± 0.00

续表 3 (Table 3 continued)

地区 Area	日期 (月.日) Date (month. day)	天敌种类 Types of natural enemies	处理 Treatment		
			蛇床草+蚕豆 <i>C. monnieri</i> + <i>V. faba</i>	蛇床草 <i>C. monnieri</i>	对照 Control
嘉善 Jiashan	6.18	食蚜蝇 Syrphid flies			
		黑带食蚜蝇 <i>E. balteatus</i>	5.00 ± 1.00 a	4.00 ± 1.00 a	0.67 ± 0.58 b
		宽带细腹食蚜蝇 <i>S. macrogaster</i>	7.67 ± 2.08 a	3.33 ± 0.58 b	0.67 ± 0.58 b
		瓢虫 Ladybugs			
	7.4	龟纹瓢虫 <i>P. japonica</i>	11.67 ± 4.73 a	7.67 ± 1.53 a	0.33 ± 0.58 b
		蜘蛛 Spiders			
		狼蛛科 Lycosidae	2.00 ± 1.00	1.00 ± 1.00	0.33 ± 0.58
		食蚜蝇 Syrphid flies			
		黑带食蚜蝇 <i>E. balteatus</i>	1.67 ± 0.58	1.33 ± 0.58	0.67 ± 0.58
	7.15	宽带细腹食蚜蝇 <i>S. macrogaster</i>	10.00 ± 2.00 a	6.00 ± 1.00 b	0.33 ± 0.58 c
		瓢虫 Ladybugs			
		龟纹瓢虫 <i>P. japonica</i>	9.67 ± 3.21 a	5.67 ± 1.53 ab	1.00 ± 1.00 b
		蜘蛛 Spiders			
		狼蛛科 Lycosidae	2.67 ± 1.15	1.67 ± 1.15	0.33 ± 0.58
	8.1	食蚜蝇 Syrphid flies			
		黑带食蚜蝇 <i>E. balteatus</i>	1.00 ± 1.00	0.33 ± 0.58	0.00 ± 0.00
		宽带细腹食蚜蝇 <i>S. macrogaster</i>	0.33 ± 0.58	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
		瓢虫 Ladybugs			
	8.1	龟纹瓢虫 <i>P. japonica</i>	2.33 ± 2.52	1.33 ± 2.31	0.00 ± 0.00
		蜘蛛 Spiders			
		狼蛛科 Lycosidae	4.00 ± 1.00 a	1.33 ± 0.58 b	0.33 ± 0.58 b
		食蚜蝇 Syrphid flies			
		黑带食蚜蝇 <i>E. balteatus</i>	0.00 ± 0.00	0.67 ± 0.58	0.33 ± 0.58
	8.1	宽带细腹食蚜蝇 <i>S. macrogaster</i>	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
		瓢虫 Ladybugs			
		龟纹瓢虫 <i>P. japonica</i>	9.67 ± 3.79 a	3.33 ± 3.06 ab	0.33 ± 0.58 b
		蜘蛛 Spiders			
		狼蛛科 Lycosidae	2.00 ± 1.00	1.00 ± 1.73	0.00 ± 0.00

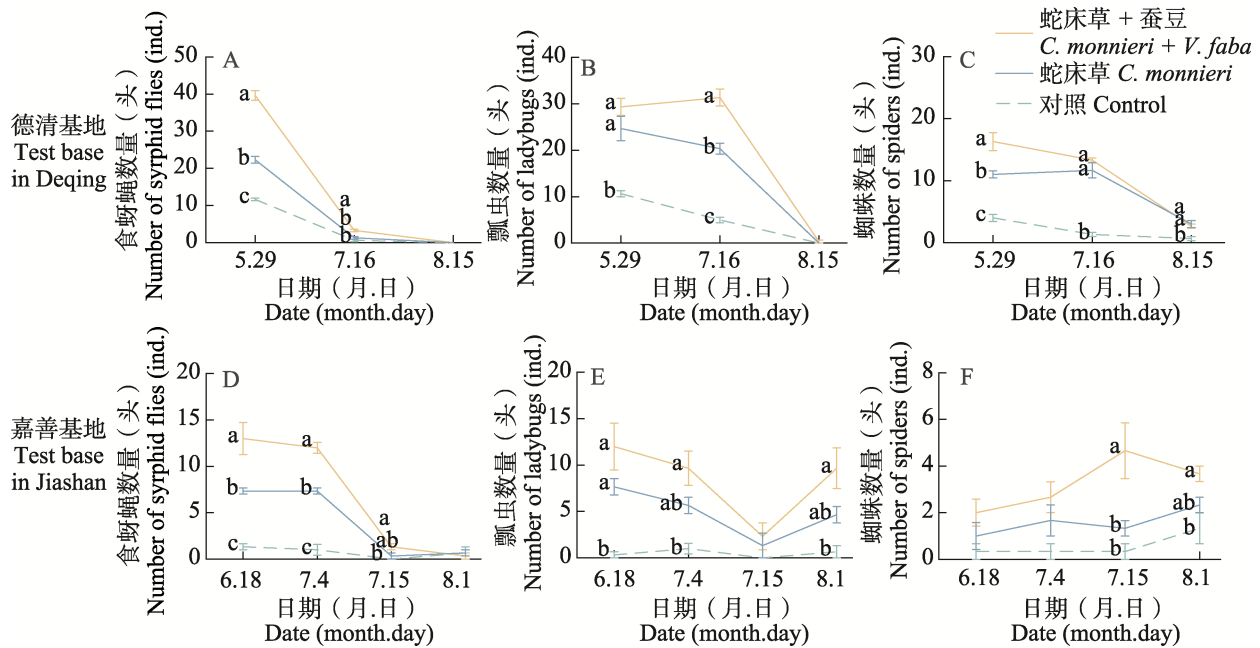


图3 “小麦-水稻”过渡期田埂上捕食性天敌的数量

Fig. 3 The number of predatory natural enemies on the field ridges during the “wheat-rice” transitional period

A. 德清基地食蚜蝇数量; B. 德清基地瓢虫数量; C. 德清基地蜘蛛数量;
D. 嘉善基地食蚜蝇数量; E. 嘉善基地瓢虫数量; F. 嘉善基地蜘蛛数量。

A. Number of syrphid flies in Deqing base; B. Number of ladybugs in Deqing base; C. Number of spiders in Deqing base;
D. Number of syrphid flies in Jiashan base; E. Number of ladybugs in Jiashan base; F. Number of spiders in Jiashan base.

($P < 0.01$) (表3)。2种功能植物处理上瓢虫的种群数量无显著差异 ($P = 0.26$) (图3: B), 但均显著高于对照 ($P < 0.01$)。7月16日的调查结果显示, 与5月下旬相比, 不同处理上食蚜蝇的数量大幅减少 (图3: A), 蛇床草和蚕豆间作处理的田埂上黑带食蚜蝇的数量仍显著高于对照 ($P = 0.04$) (表3)。不同处理上瓢虫 (图3: B) 和蜘蛛 (图3: C) 的种群数量变化较小, 蛇床草和蚕豆间作处理的田埂上龟纹瓢虫 ($P < 0.01$) 和管巢蛛 ($P = 0.02$) 的种群数量显著高于单一蛇床草处理的田埂, 狼蛛 ($P < 0.01$) 和跳蛛 ($P = 0.02$) 的种群数量显著高于对照。8月15日的调查结果显示, 相较于5月下旬至7月上旬, 不同处理上捕食性天敌的种群数量大幅减少 (图3: A-C), 推测其可能已迁移至稻田中。

同时, 本研究也在嘉善基地试验田种植功能植物的田埂上设置了马氏网, 并进行了4次调查 (6月18日、7月4日、7月15日和8月1日),

采集到的捕食性天敌主要包括食蚜蝇 (黑带食蚜蝇、宽带细腹食蚜蝇)、瓢虫 (龟纹瓢虫) 和蜘蛛 (狼蛛) (表3)。6月18日 ($P = 0.02$) 和7月4日 ($P < 0.01$) 的调查结果显示, 蛇床草和蚕豆间作处理的田埂上食蚜蝇的种群数量显著高于单一蛇床草处理的田埂 (图3: D), 尤其是宽带细腹食蚜蝇 ($P < 0.05$) (表3); 蛇床草和蚕豆间作处理的田埂上龟纹瓢虫的种群数量显著高于对照 ($P < 0.01$) (表3, 图3: E)。7月15日的调查结果显示, 相较于6月, 2种功能植物处理上食蚜蝇 (图3: D) 和瓢虫 (图3: E) 的种群数量均大幅减少, 其中蛇床草和蚕豆间作处理的田埂上食蚜蝇的数量仍显著高于对照 ($P = 0.03$) (图3: D)。蜘蛛的种群数量变化较小 (图3: F), 蛇床草和蚕豆间作处理的田埂上狼蛛的种群数量显著高于单一蛇床草处理的田埂 ($P = 0.01$) 和对照 ($P < 0.01$) (表3)。8月1日的调查结果显示, 蛇床草和蚕豆间作处理的田埂上瓢虫 ($P < 0.01$) (图3: E) 和蜘蛛

($P = 0.03$) (图 3: F) 的种群数量显著高于对照。瓢虫与蜘蛛作为麦田与稻田共有的天敌物种, 具有潜在的迁移能力, 可进一步在稻田中发挥其生物防治作用。

3 结论与讨论

蛇床草具有显著的天敌保育功能, 其不仅能为瓢虫类捕食性天敌提供早期迁入条件, 还能在麦蚜发生期促进天敌种群向麦田迁移, 从而实现对害虫的有效控制。此外, 在小麦收获后, 蛇床草可作为天敌昆虫的重要栖息场所, 对维持农田生态系统中的天敌种群具有重要作用(杨泉峰等, 2018)。本研究在此基础上, 选取开花期与小麦生育期同步的蚕豆作为伴生植物开展田间试验, 评估了功能植物蛇床草和蚕豆在麦田中对捕食性天敌的协同涵养效果及其在可持续害虫综合治理中的应用潜力。

结果表明, 蛇床草与蚕豆间作的功能植物带对食蚜蝇的吸引效果显著优于单一蛇床草处理, 尤其是在黑带食蚜蝇和宽带细腹食蚜蝇的种群数量上表现出明显的优势。蜘蛛和瓢虫的种群数量在 2 种功能植物处理间差异较小, 但均显著高于对照处理。可见蛇床草与蚕豆的间作模式能够有效提升麦田捕食性天敌的种群数量, 尤其是在食蚜蝇的吸引和增殖方面具有显著效果, 这种增效作用可能源于 2 种植物的生态位互补。蛇床草作为伞形科显花植物, 其丰富的花蜜和花粉可作为天敌昆虫的营养来源(李娜等, 2024; 梁潇以等, 2025); 蚕豆作为豆科植物, 可通过根系固氮改善土壤肥力, 其叶片、花器或蚜虫(如蚕豆蚜 *Aphis fabae*) 为捕食性天敌提供直接猎物或蜜露、花粉等补充营养(刘梅等, 2021)。因此, 蛇床草和蚕豆的间作为捕食性天敌提供了多样化的栖息环境和食物资源, 从而增强了生态系统的稳定性, 使捕食性天敌更容易在田间定殖和繁衍, 导致蛇床草与蚕豆间作的功能植物带上捕食性天敌数量远多于单一蛇床草处理的功能植物带(Landis *et al.*, 2000; Lopes *et al.*, 2016; Huss *et al.*, 2022)。而在距离功能植物带 30 m 的麦田中, 单一蛇床草处理上黑带食蚜蝇和龟纹瓢虫

的种群数量显著高于蛇床草与蚕豆间作处理。推测蛇床草与蚕豆间作处理通过复合资源吸引捕食性天敌昆虫近距离聚集, 而单一蛇床草处理因信号纯净、竞争压力小等因素, 可能更利于捕食性天敌昆虫在远距离麦田中定殖, 然而还需进一步验证。

在小麦-水稻过渡期, 蛇床草与蚕豆间作的田埂上捕食性天敌的种群数量显著高于单一蛇床草处理的田埂, 特别是在黑带食蚜蝇、宽带细腹食蚜蝇和狼蛛的种群数量上表现出显著差异, 表明功能植物带不仅在小麦生长季能够涵养天敌, 还能在小麦收割后继续为天敌提供栖息场所, 具有较好的可持续利用效果。瓢虫和蜘蛛作为麦田与稻田共有的天敌物种, 具有潜在的迁移能力, 可进一步在稻田中发挥其生物防治作用。

本研究的结果与以往的研究一致, 证实了功能植物在农田生态系统中具有重要的生态调控作用。通过种植功能植物, 可以为天敌昆虫提供丰富的营养资源和栖息场所, 从而增强天敌昆虫的种群数量和控制害虫的能力(Gurr *et al.*, 2016; Redlich *et al.*, 2018; 杨泉峰等, 2018; 苏文雯等, 2020)。然而, 本研究未能评估功能植物在不同年份和气候条件下的长期效果, 存在一定局限性。此外, 功能植物对天敌昆虫的具体营养需求和生态位竞争机制仍需进一步研究, 以优化功能植物的种植模式和管理策略。

综上所述, 蛇床草与蚕豆的间作模式在麦田中对捕食性天敌的涵养效果显著, 尤其是在食蚜蝇的吸引和增殖方面表现出明显的优势。功能植物带不仅在小麦生长季能够涵养天敌, 还能在小麦收割后继续为天敌提供栖息场所, 具有较好的可持续利用效果。未来研究应进一步探讨功能植物在不同生态条件下的长期效果及其对天敌昆虫的具体营养需求, 以优化农田生态系统的生物防治策略。

参考文献 (References)

- Bühler A, Schweiger R, 2024. Influence of previous infestation of wheat leaves and ears by *Sitobion avenae* on interaction with *Rhopalosiphum padi*. *Insects*, 15(11): 871.

- 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.]
- Fang Y, Wang J, Qin Y, Wang S, Jin ZY, Li S, 2021. Effect of nectar plant *Cosmos bipinnata* on the population dynamics of predatory 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.]
- Ge F, 2020. The ecological regulation and management of pests. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(1): 10–19. [戈峰, 2020. 论害虫生态调控策略与技术. 应用昆虫学报, 57(1): 10–19.]
- Gurr GM, Lu ZX, Zheng XS, Xu HX, Zhu PY, Chen GH, Yao XM, Cheng JA, Zhu ZR, Catindig JL, Villareal S, Van Chien H, Cuong LQ, Channoo C, Chengwattana N, Lan LP, Hai LH, Chaiwong J, Nicol HI, Perovic DJ, Wratten SD, Heong KL, 2016. Multi-country evidence that crop diversification promotes ecological intensification of agriculture. *Nature Plants*, 2: 16014.
- Gurr GM, Wratten SD, Landis DA, You MS, 2017. Habitat management to suppress pest populations: Progress and prospects. *Annual Review of Entomology*, 62: 91–109.
- Huss CP, Holmes KD, Blubaugh CK, 2022. Benefits and risks of intercropping for crop resilience and pest management. *Journal of Economic Entomology*, 115(5): 1350–1362.
- Landis DA, Wratten SD, Gurr GM, 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology*, 45: 175–201.
- Li N, Li AK, Li ZQ, Shi YJ, Zhao YY, 2024. Preliminary report on the efficacy of *Cnidium monnieri* in conserving natural enemies for wheat aphid control. *China Plant Protection*, 44(12): 59–61. [李娜, 李爱科, 李志强, 时玉娟, 赵言元, 2024. 蛇床草涵养天敌防治麦蚜效果初报. 中国植保导刊, 44(12): 59–61.]
- Liang XY, Zhang XR, Zhao CL, Yan LY, Zhang XN, Chang CY, Jiang X, Li Z, Ge F, 2025. Effects of *Cnidium monnieri* planting on the conservation and aphids control effects of ladybirds in fields in wheat-maize rotation system. *Acta Entomologica Sinica*, <https://link.cnki.net/urlid/11.1832.Q.20250303.1018.002>. [梁潇以, 张兴瑞, 赵传麟, 燕立媛, 张晓宁, 常春燕, 蒋欣, 李卓, 戈峰, 2025. 小麦-玉米轮作系统中种植蛇床草对田间天敌瓢虫保育及其控蚜效果的影响. 昆虫学报, <https://link.cnki.net/urlid/11.1832.Q.20250303.1018.002>.]
- Liu JH, Yu MF, 2013. Response of parasitoids and predators of cereal aphids to landscape complexity. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(4): 912–920. [刘军和, 禹明甫, 2013. 麦蚜寄生蜂和捕食性天敌种群对景观复杂性的响应. 应用昆虫学报, 50(4): 912–920.]
- Liu L, Wang SJ, Zuo JF, Zhang XH, Peng X, Wang K, Chen MH, 2023. Characterization and fitness cost of bifenthrin resistance in *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*, 116(5): 1795–1803.
- Liu M, Zhang CR, Ban FX, Liu SL, Ran QJ, Shang XL, Zeng G, Cao Y, Sun YH, 2021. Control of tea pests by the banker plant system of *Orius strigicollis*-*Vicia faba*-*Aphis fabae*. *Chinese Journal of Biological Control*, 37(5): 936–945. [刘梅, 张昌容, 班菲雪, 刘少兰, 冉乾军, 尚小丽, 曾广, 曹宇, 孙月华, 2021. 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. 中国生物防治学报, 37(5): 936–945.]
- Lopes T, Hatt S, Xu QX, Chen JL, Liu Y, Francis F, 2016. Wheat (*Triticum aestivum* L.)-based intercropping systems for biological pest control. *Pest Management Science*, 72(12): 2193–2202.
- 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): 276–282. [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): 276–282.]
- Mi YY, Yang YJ, Wang S, Jin ZY, Li S, 2024. Detection of functional plants in relation to the population dynamics of natural predators and pests. *Journal of Environmental Entomology*, 46(2): 489–497. [米莹莹, 杨亚洁, 王甦, 金振宇, 李姝, 2024. 基于捕食性天敌及害虫种群动态筛选功能植物的研究. 环境昆虫学报, 46(2): 489–497.]
- Mondal PC, Salim R, Kumar V, Kaushik P, Shakil NA, Pankaj, Rana VS, 2024. Aphidicidal activity of nano-emulsions of spearmint oil and carvone against *Rhopalosiphum maidis* and *Sitobion avenae*. *Scientific Reports*, 14(1): 24226.
- Peng X, Wang SJ, Huang L, Su S, Chen MH, 2021. Characterization of *Rhopalosiphum padi* takeout-like genes and their role in insecticide susceptibility. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 171: 104725.
- Pretty J, 2018. Intensification for redesigned and sustainable agricultural systems. *Science*, 362(6417): eaav0294.
- Qonaah IA, Simon AL, Warner D, Rostron RM, Bruce TJA, Ray RV, 2025. Rapid screening for resistance to *Sitobion avenae* (F.) and

- Rhopalosiphum padi* (L.) in winter wheat seedlings and selection of efficient assessment methods. *Pest Management Science*, 81(2): 819–830.
- Redlich S, Martin EA, Steffan-Dewenter I, 2018. Landscape-level crop diversity benefits biological pest control. *Journal of Applied Ecology*, 55(5): 2419–2428.
- Su WW, Yang QF, Ouyang F, Men XY, Ge F, 2020. Characteristics and potential uses of the functional plant *Sonchus arvensis* L. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(1): 226–232. [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): 226–232.]
- Sun YR, Luo XL, Zeng YY, Zhao ZH, 2017. Types of functional plant and its bio-controlling effect in agricultural landscape. *China Plant Protection*, 37(9): 21–28. [孙玉荣, 罗晓玲, 曾译影, 赵紫华, 2017. 农田景观中功能植物的类型及其生物控害作用. 中国植保导刊, 37(9): 21–28.]
- Wang JH, Qiu LF, Che SC, Yu GY, Shao JL, Zhong L, 2015. The effects of floral resource plants on natural enemy insects and implications for biological control. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(2): 289–299. [王建红, 仇兰芬, 车少臣, 虞国跃, 邵金丽, 仲丽, 2015. 蜜粉源植物对天敌昆虫的作用及其在生物防治中的应用. 应用昆虫学报, 52(2): 289–299.]
- Yang PY, Wang K, Li JM, Li WX, Yin JM, 2018. Promoting green agricultural development through eliminating pesticide overuses in crop pest management. *Plant Protection*, 44(5): 95–100. [杨普云, 王凯, 厉建萌, 李文星, 尹俊梅, 2018. 以农药减量控害助力农业绿色发展. 植物保护, 44(5): 95–100.]
- Yang QF, Ouyang F, Men XY, 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 XY, Ge F, 2020. Functional plants: Current uses and future research. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(1): 41–48. [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): 41–48.]
- Zhu P, Lu Z, Heong K, Chen G, Zheng X, Xu H, Yang Y, Nicol HI, Gurr GM, 2014. Selection of nectar plants for use in ecological engineering to promote biological control of rice pests by the predatory bug, *Cyrtorhinus lividipennis*, (Heteroptera: Miridae). *PLoS ONE*, 9(9): e108669.
- Zaviezo T, Muñoz AE, 2023. Conservation biological control of arthropod pests using native plants. *Current Opinion in Insect Science*, 56: 101022.