西兰花-小麦间作对田间天敌群落及生态防控作用的影响*

吴怡瑄[1, 2**] 刘至幸[2] 张家辉[2] 潘光凤[2] 东方龙[2]
李晓维[2] 黄 俊[2] 吕要斌[2] 饶 琼[1***] 张治军[2***]
（1. 浙江农林大学，杭州 311300；2. 浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所，农产品质量安全全国重点实验室，杭州 310021）

摘 要 **【目的】** 探究西兰花和小麦间作田与小麦单作田节肢动物群落差异，分析西兰花作为小麦田害虫防控的功能植物可能性。**【方法】** 2024 年 4-5 月利用扫网法、陷阱法和马氏网法对两种不同种植模式下的节肢动物种群进行调查。采用 DNA 条形码技术对获得的样本进行物种鉴定，并对群落结构参数进行分析。**【结果】** 共捕获昆虫 25 种，分属于 6 目，其中天敌种类 12 种，害虫种类 13 种。在西兰花-小麦间作田中，平均节肢动物个体数（539.88±16.70）头和 Shannon 多样性指数（2.37±0.03）显著高于小麦单作田[平均节肢动物个体数:（345.61±8.33）头，Shannon 多样性指数:（1.89±0.29）]（P<0.05）。主要天敌烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis* 和黑带食蚜蝇 *Episyrphus balteatus* 的数量在间作田中显著高于单作田，分别提高 94.4%和 151.0%（P<0.01）。**【结论】** 西兰花与小麦间作能显著提高田间天敌的数量和多样性，具有涵养天敌的功能。烟蚜茧蜂和黑带食蚜蝇在间作田中的种群数量显著增加，表明该间作体系有助于加强对麦蚜等害虫的生物防控效果。

关键词 小麦；西兰花；生态防控；天敌；群落多样性

The effect of intercropping wheat with broccoli on the natural enemies of wheat pests

WU Yi-Xuan[1, 2**] LIU Zhi-Xing[2] ZHANG Jia-Hui[2] PAN Guang-Feng[2] DONG Fang-Long[2]
LI Xiao-Wei[2] HUANG Jun[2] LÜ Yao-Bin[2] RAO Qiong[1***] ZHANG Zhi-Jun[2***]
(1. Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China; 2. State Key Laboratory for Quality and Safety of Agro-Products, Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China)

Abstract **[Aim]** To investigate effect of intercropping wheat with broccoli on arthropod communities, and thereby assess the potential of broccoli as a functional plant for pest control in wheat fields. **[Methods]** Sweep-netting, pitfall trapping, and Malaise trapping were used to determine the composition of arthropod communities in wheat fields that were intercropped with broccoli, and in wheat monocultures, from April to May 2024. DNA barcoding technology was used for species identification, after which community structure parameters were analyzed. **[Results]** A total of 25 insect species belonging to 6 orders were captured, including 12 natural enemies of wheat pests and 13 pest species. In intercropped fields, both the number of individual arthropods (539.88±16.70) and the Shannon diversity index (2.37±0.03) were significantly higher than in wheat monocultures (345.61±8.33) and (1.89±0.29), respectively (P<0.05). Populations of *Aphidius gifuensis* and *Episyrphus balteatus*, two major natural enemies of wheat pests, were significantly higher 94.4% and 151.0%, respectively (P<0.01) in intercropped fields than in monocultures. **[Conclusion]** Intercropping wheat and broccoli can significantly increase the abundance and diversity of natural enemies in wheat fields. The significantly higher abundance of *A. gifuensis* and *E. balteatus* in intercropped fields suggests that intercropping can enhance the biological control of pests, such as

*资助项目 Supported projects：十四五国家重点研发项目（2023YFD1400804；2022YFC2601405-4；2022YFD1401204）
**第一作者 First author，E-mail：wyx0425123@163.com
***共同通讯作者 Co-corresponding authors，E-mail：qiong.rao@zafu.edu.cn；Zhangzj@zaas.ac.cn
收稿日期 Received：2025-02-09；接受日期 Accepted：2025-04-11

wheat aphids.

Key words　wheat; broccoli; ecological pest control; natural enemies; community diversity

生态防控的理念最早由马世骏(1979)提出，后由戈峰（2020）发展为害虫生态调控，是害虫管理的一种策略。它基于“预防为主，生态优先，整合治理，精准施策”的原则，强调调节与控制两个过程相辅相成，从农田景观生态系统中“作物-害虫-天敌及其周围环境”相互作用关系出发，充分考虑到昆虫的生物控害功能、传粉功能和分解功能，在充分发挥天敌的控害、作物的抗性以及创造不利于害虫而有利于天敌及作物生长的环境基础上，整合包括生态调控技术、农业防治、生物防治、理化诱控、现代生物技术和合理的化学防治等手段，构建“经济、简便、有效”的生态技术体系，将害虫控制在生态经济阈值水平之下，达到经济可行、生态可持续、社会可接受的目的。天敌的生物防治作用主要通过捕食和寄生两种方式实现（Baker *et al.*，2020）。在捕食方面，历史上最早的规模化生物防治成功案例是1888 年在加利福尼亚引入澳洲瓢虫 *Rodolia cardinalis* 控制吹绵蚧 *Icerya purchasi*（Flint and Bosch，1981）。近年研究表明，多种小花蝽对蓟马具有显著的控害效果，如东亚小花蝽 *Orius sauteri* 对西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 具有高效的控制效果（朱正阳等，2022）以及南方小花蝽 *O. similis* 对西花蓟马和黄蓟马 *Thrips flavus* 均具有捕食行为（莫利锋等，2013；孙英等，2021）。在寄生方面，赤眼蜂是应用最为成功的卵寄生蜂之一，可寄生 90 科 1 270 余种昆虫的卵，已广泛应用于玉米、水稻、蔬菜等作物害虫的防治（Wang *et al.*，2014；Zang *et al.*，2021）。

功能植物通过涵养天敌来提高目标田块中的天敌数量是当前研究热点。研究表明，田埂种植芝麻可显著提高水稻田寄生性天敌的数量（朱平阳，2012）。Aparicio 等（2018）发现种植香雪草能够吸引桃蚜 *Myzus persicae* 的捕食性天敌及寄生性天敌并一定程度上延长天敌的寿命。张曼等（2024）发现玉米大豆间作模式可提高田间节肢动物群落多样性及稳定性，提高天敌的物种数。Obanyi 等（2023）研究发现，玉米与藜、三叶鬼针草等功能植物间作可使捕食性天敌数量提高约 10%，并增加天敌物种丰富度。这些结果表明功能植物在增加天敌种群和加强生物防治方面具有重要潜力。小麦是我国重要的粮食作物，其安全生产对保障粮食安全具有重要意义（闫甲等，2020）。麦蚜、螨类等害虫可导致小麦减产 30%-60%（唐平华等，2013）。当前，适度规模化农业发展和高标准农田整治导致田埂等非作物生境显著减少，加之除草剂的常规使用，进一步加剧了麦田生境植被的单一化。研究表明，田埂植被作为生物廊道可为麦田天敌生物多样性提供重要支持（杨泉峰等，2020）。因此，提高小麦田植物多样性有望通过影响天敌的多样性与丰富度来增强其生物控害潜力。

西兰花等十字花科作物是南方冬春季普遍种植的经济作物，其种植季节与冬春小麦基本重叠。研究表明，十字花科蔬菜如油菜与小麦间作提高了小麦的产量（唐明明等，2022）。此外，国外学者 Shrestha（2019）研究表明以羽衣甘蓝作为功能植物种植在卷心菜农业生态系统中，可以使卷心菜的昆虫被诱集到羽衣甘蓝上，并且这种种植模式提高了捕食性昆虫 *Coleomegilla maculata* 的数量，也提高了寄生性天敌 *Cotesia orobenae* 的寄生率。然而，关于十字花科作物与小麦间作对天敌群落的影响尚缺乏系统研究。本研究通过对西兰花-小麦间作田和小麦单作田节肢动物群落的调查与分析，旨在：（1）探究西兰花间作对小麦田天敌群落多样性的影响；（2）评估主要天敌种类对间作模式的响应；（3）分析西兰花作为功能植物在小麦害虫生物防控中的应用潜力。研究结果将为构建基于功能植物的小麦田生态防控体系提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

试验于 2023 年 11 月至 2024 年 5 月在浙江

省湖州市德清县新安镇新安大道星晴家庭农场（120°18.44′N，30°57.12′E）进行。试验地土壤类型为水稻土，pH 6.5-7.0，有机质含量 2.5%。试验期间平均气温 12.5 ℃，相对湿度 75%，年降水量 1 200 mm。

试验设置 6 个 20 m×40 m 的田块，随机分配为西兰花-小麦间作田（3 块）（图 1）和小麦单作田（3 块），两种处理交错布局。小麦（品种：浙麦 1 号）于 2023 年 11 月 15 日条播，行距 30 cm；西兰花（品种：绿宝）于 2023 年 12 月 1 日移栽，每隔 20 m 种植两行，行距 50 cm。田间管理按当地常规方式进行，全生育期不使用杀虫剂。灌溉采用畦灌，施肥按 N∶P∶K=1∶0.5∶0.8 比例进行基肥和追肥。

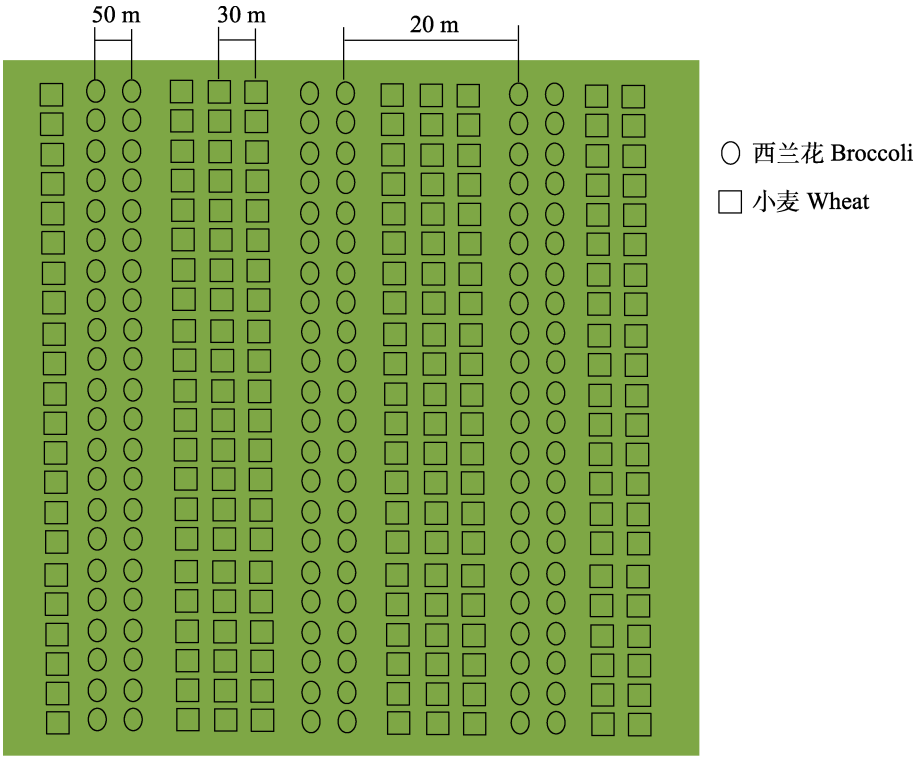

图 1　西兰花与小麦间作田间作模式

Fig. 1　Field intercropping mode of broccoli and wheat

1.2　调查方法

1.2.1　节肢动物采集　采用马氏网法、黄板法和陷阱法于 2024 年 4 月 1 日至 5 月 31 日进行节肢动物采集，每 7 d 采样一次，采样时间为 8:00-11:00，天气晴朗无雨时进行。具体设置如下：

（1）马氏网：使用 200 目尼龙网，每个田块放置 3 个，间隔 10 m。西兰花-小麦间作田中的马氏网放置于西兰花-小麦交界处，共 18 个采样点。

（2）黄板：采用 25 cm×15 cm 黄色粘虫板，距地面高度为作物顶端上方 10 cm。布置位置与陷阱交错，每个田块 3 个，共 18 个采样点。

（3）陷阱：使用上口直径 9.5 cm、底部直径 7.0 cm、深 25.8 cm 的塑料杯，内置 50%乙二醇溶液。每个田块布置 3 个，间隔 10 m，共 18 个采样点。

1.2.2　样本鉴定　采集的节肢动物样本经 70%酒精固定后，先进行形态学初步鉴定，再采用 DNA 条形码技术进行物种确认。DNA 提取采用改良 CTAB 法，使用通用引物 LCO1490（5′-GGTCAACAAATCATAAAGATATTGG-3′）和 HCO2198（5′-TAAACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA-3′）扩增 CO Ⅰ基因片段。PCR 反应体系及程序如下：PCR Mix 10 μL（Bioshark），上下游引物各 0.5 μL，DNA 模板 1 μL，无菌水 8 μL，94 ℃预变性 5 min；94 ℃变性 30 s，50 ℃退火 30 s，72 ℃延伸 1 min，共 35 个循环；72 ℃最终延伸 10 min（黄卫东等，2022）。

1.3　数据分析

采用以下指标分析群落结构特征：

（1）Shannon-Wiener 多样性指数：$H= -\sum(P_i \times \ln P_i)$，

（2）Pielou 均匀度指数：$E=H/\ln S$，

（3）Simpson 优势集中性指数：$C=\sum P_i^2$。

其中，P_i 为第 i 个物种的个体数占群落总个体数的比例，S 为物种数。

使用 SPSS 24.0 进行统计分析，采用双因素方差分析（Two-way ANOVA）比较不同处理间的差异，数据正态性和方差齐性经 Shapiro-Wilk 检验和 Levene 检验验证。使用 LSD 法进行多重比较（α=0.05）。采用 GraphPad Prism 10.1.2 绘制图表。

2　结果与分析

2.1　节肢动物群落组成

2.1.1　天敌种类组成　在 2024 年 4-5 月的调查中，共获得天敌昆虫 12 种，分属 4 目（表 1）。其中，鞘翅目天敌最多，包括拟丽步甲 *Callistoides pericallus*、寡行步甲 *Anoplogenius cyanescens*、六条瓢虫 *Menochilus sexmaculata* 和异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 4 种。膜翅目天敌包括镜面茎姬蜂 *Collyria catoptron*、脊茧蜂 *Aleiodes* sp.和烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis* 3 种，膜翅目昆虫数量在两种种植模式下占比分别为 23.69%和 20.16%。此外，还包括双翅目的黑带食蚜蝇 *Episyrphus balteatus* 和蜘蛛目的 4 种捕食性天敌。

西兰花-小麦间作田和小麦单作田均有 11 种天敌，但种类组成略有差异：间作田特有寡行步甲，单作田特有拟丽步甲。

2.1.2　害虫种类组成　调查期间在两种种植模式下共发现害虫 13 种，主要分属鳞翅目、鞘翅目和同翅目（表 2）。鳞翅目和鞘翅目害虫种类最多，各有 4 和 3 种。鳞翅目害虫包括二化螟 *Chilo suppressalis*、小菜蛾 *Plutella xylostella*、菜粉蝶 *Pieris rapae* 和长喙天蛾 *Macroglossum corythus*；鞘翅目害虫包括黄曲条跳甲 *Phyllotreta striolata*、小猿叶甲 *Phaedon brassicae* 和多色异丽金龟 *Anomala chamaeleon*。

表 1　不同种植模式下天敌昆虫的种类组成及数量

Table 1　The species composition and quantity of natural enemy insects under different planting modes

目 Order	种 Species	西兰花-小麦间作田 Broccoli and wheat intercropping field		小麦单作田 Wheat monoculture field	
		数量（头）Number (ind.)	物种相对丰度（%）Relative Abundance (%)	数量（头）Number (ind.)	物种相对丰度（%）Relative abundance (%)
膜翅目 Hymenoptera	镜面茎姬蜂 *Collyria catoptron*	26	1.59	6	0.58
	脊茧蜂 *Aleiodes* sp.	50	3.06	43	4.15
	烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis*	311	19.04	160	15.43
双翅目 Diptera	黑带食蚜蝇 *Episyrphus balteatus*	128	7.84	51	4.92
鞘翅目 Coleoptera	拟丽步甲 *Callistoides pericallus*	0	0.00	1	0.10
	寡行步甲 *Anoplogenius cyanescens*	4	0.24	0	0.00
	六条瓢虫 *Menochilus sexmaculata*	51	3.12	41	3.95
	异色瓢虫 *Harmonia axyridis*	4	0.24	8	0.77
	狭胸隐翅虫 *Staphylinidae latreille*	9	0.55	9	0.87
蜘蛛目 Araneae	拟环纹狼蛛 *Lycosa pseudoamulata*	10	0.61	12	1.16
	八斑球腹蛛 *Theridion octomaculatum*	5	0.31	1	0.10
	食虫沟瘤蛛 *Ummeliata insecticeps*	244	14.94	204	19.67

表 2 不同种植模式下害虫的种类组成及数量

Table 2 Species composition and quantity of pests under different planting modes

目 Order	种 Species	西兰花-小麦间作田 Broccoli and wheat intercropping field		小麦单作田 Wheat monoculture field	
		数量（头） Number (ind.)	物种相对丰度（%） Relative Abundance (%)	数量（头） Number (ind.)	物种相对丰度（%） Relative abundance (%)
鳞翅目 Lepidoptera	二化螟 *Chilo suppressalis*	13	0.80	15	1.45
	小菜蛾 *Plutella xylostella*	227	13.90	107	10.32
	菜粉蝶 *Pieris rapae*	95	5.82	28	2.70
	长喙天蛾 *Macroglossum corythus*	2	0.12	3	0.29
膜翅目 Hymenoptera	黑翅菜叶蜂 *Athalia lugens*	6	0.37	3	0.29
鞘翅目 Coleoptera	黄曲条跳甲 *Phyllotreta striolata*	18	1.10	8	0.77
	小猿叶甲 *Phaedon brassicae*	69	4.23	8	0.77
	多色异丽金龟 *Anomala chamaeleon*	1	0.06	1	0.10
同翅目 Homoptera	麦二叉蚜 *Schizaphis graminum*	252	15.43	303	29.22
	桃蚜 *Myzus persicae*	70	4.29	0	0.00
半翅目 Hemiptera	筛豆龟蝽 *Megacopta cribraria*	4	0.24	2	0.19
	点蜂缘蝽 *Riptortus pedestris*	2	0.12	4	0.39
蜘蛛目 Araneae	褶管巢蛛 *Clubiona vigil*	15	0.92	10	0.96

同翅目害虫虽仅 2 种，但数量最多，在间作田和单作田中分别占总害虫数的 19.72%和 29.22%。其中，麦二叉蚜 *Schizaphis graminum* 为优势种，桃蚜仅在间作田中发现。

2.2 群落结构特征分析

2.2.1 总体群落结构 西兰花-小麦间作田的节肢动物总个体数[（539.88±16.70）头]显著高于小麦单作田[（345.61±8.33）头]（$F_{1,2}$= 143.1，P=0.006 9）。Shannon-Wiener 多样性指数在间作田（2.37± 0.03）也显著高于单作田（1.89±0.29）（$F_{1,2}$= 2.233，P=0.027）。两种种植模式下的 Pielou 均匀度指数（P=0.524 4）和 Simpson 优势集中性指数（P=0.390 0）无显著差异（表 3）。

2.2.2 天敌群落特征 天敌群落分析显示，间作田的天敌总个体数[（188.67±5.36）头]显著高于单作田[（132.67±6.35）头]（$F_{1,2}$=313 6，P=0.000 3）。两种种植模式下天敌群落的多样性指数（P=0.728 0）、均匀度指数（P=0.892 9）和优势度指数（P=0.975 0）均无显著差异（表 4）。

表 3 西兰花-小麦间作田间农田群落结构参数

Table 3 The athropod community characteristics index of broccoli-wheat intercropping field

种植模式 Planting patterns	物种数 Species	个体数（头） Individuals (ind.)	多样性指数 Shannon diversity index	均匀度指数 Pielou evenness index	优势度指数 Simpson dominance index
西兰花与小麦间作田 Broccoli and wheat intercropping field	22.67±0.88 a	539.88±16.70 a	2.37±0.03 a	0.76±0.01 a	0.12±0.01 a
小麦单作田 Wheat monoculture field	20.00±1.00 a	345.61±8.33 b	1.89±0.29 b	0.63±0.09 a	0.12±0.04 a

表中数据为平均值±标准差，同一列数据后不同字母表示显著差异（P<0.05，双因素方差分析法检验）。下表同。

Data in the table are presented as mean±SD, and followed by the different letters within a column indicate significant difference (P<0.05, Two-way ANOVA test). The same below.

表 4　西兰花-小麦间作田间农田天敌群落结构参数

Table 4　The athropod community characteristics index of natural enemies in broccoli-wheat intercropping field

种植模式 Planting patterns	物种数 Species	个体数（头） Individuals (ind.)	多样性指数 Shannon diversity index	均匀度指数 Pielou evenness index	优势度指数 Simpson dominance index
西兰花与小麦间作田 Broccoli and wheat intercropping field	13.00±1.16 a	188.67±5.36 a	1.63±0.03 a	0.67±0.01 a	0.09±0.05 a
小麦单作田 Wheat monoculture field	11.33±0.33 a	132.67±6.35 b	1.66±0.05 a	0.70±0.02 a	0.06±0.06 a

2.2.3　主要天敌数量变化　在两种种植模式下，烟蚜茧蜂、食虫沟瘤蛛 *Ummeliata insecticeps* 和黑带食蚜蝇均为优势天敌种类。其中，烟蚜茧蜂在间作田中的数量[（103.67±3.93）头]显著高于单作田[（53.33±2.60）头]（P<0.01）；黑带食蚜蝇在间作田中的数量[（42.67±4.63）头]也显著高于单作田[（17.00±2.65）头]（P<0.000 1）。食虫沟瘤蛛在间作田中的数量[（81.33±3.93）头]虽高于单作田[（68.00±6.66）头]，但差异不显著（P>0.05）（图 2）。

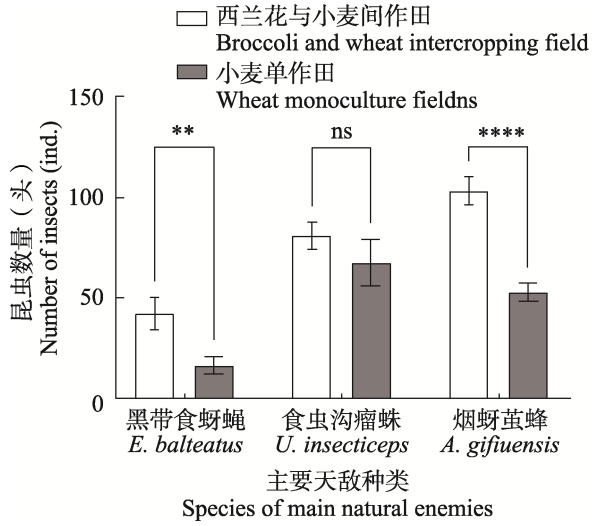

图 2　西兰花-小麦田间的主要天敌数量

Fig. 2　Number of natural enemies in broccoli-wheat field

图中数据为平均值±标准差，星号表示显著差异（** P<0.01，**** P<0.000 1，双因素方差分析法检验），ns 表示差异不显著（P>0.05，双因素方差分析法检验）。

Data in the figure are presented as mean±SD. Asterisk indicates significant difference (** P<0.01, **** P<0.000 1, Two-way ANOVA test), ns indicates no significant difference (P>0.05, Two-way ANOVA test).

3　讨论

本研究发现西兰花-小麦间作显著提高了田间节肢动物的多样性和天敌数量。这与 Obanyi 等（2023）关于作物间作增加生物多样性的研究结果相符。与传统的功能植物如梭鱼草和含羞草相比（Xiang *et al.*，2021；Hei *et al.*，2022），西兰花作为经济作物具有更高的实用价值。本研究结果表明，西兰花-小麦间作不仅提供了额外的经济效益，还通过增加植物多样性丰富了农田生态系统。特别值得注意的是，烟蚜茧蜂和黑带食蚜蝇在间作田中的数量显著增加。这可能归因于以下几个方面：首先，西兰花为这些天敌提供了额外的花蜜和花粉资源，有利于成虫的存活和繁殖；其次，西兰花上的桃蚜为天敌提供了替代寄主或猎物，在麦蚜发生较少时期仍能维持天敌种群；第三，间作模式增加了植物结构的复杂性，为天敌提供了更多的栖息场所和避难所。这些结果支持了农田景观异质性有利于天敌种群维持的观点（欧阳芳等，2016）。本研究结果表明麦二叉蚜在单作田的数量略高于间作田，这与 Xie 等（2012）研究小麦与绿豆间作减少了小麦田间麦蚜数量的结果类似，说明间作田中天敌数量的显著增加可能会在更长时间尺度上对害虫种群产生抑制作用，这也与 Hogg（2011）研究所表明的选择香雪球作为功能植物时，可以增加田间食蚜蝇的数量并且提高食蚜蝇的捕食量的结论相符。烟蚜茧蜂已被证实能有效寄生麦二叉蚜（宋修超，2012），而其在间作田中数量的增加（提高 94.4%）预示着更强的生物控制潜力。同时，黑带食蚜蝇数量的显著提升（提高 151.0%）也为蚜虫的生物防控提供了有利条件。

由于西兰花本身还会吸引烟蚜茧蜂和黑带食蚜蝇的另外一个靶标害虫——桃蚜，并且在本研究中，所调查到的两种害虫总量为西兰花-小麦间作田（322 头）大于小麦单作田（303 头），而麦二叉蚜的数量则是西兰花-小麦间作田（252 头）小于小麦单作田（303 头），因此本研究认为，西兰花与小麦间作不仅增加了天敌的数量，也会增加害虫的数量。即使在此情况下，烟蚜茧蜂和黑带食蚜蝇在西兰花-小麦间作田中对麦二叉蚜的控制能力也高于小麦单作田。

西兰花作为经济作物，与小麦间作具有良好的生态和经济效益。本研究证实了其对天敌的涵养作用，为构建以功能植物为基础的生态防控体系提供了新思路。在实际应用中，需要做好以下几方面的工作：（1）根据当地种植习惯选择适宜的间作密度；（2）结合其他生态防控措施，如天敌的人工释放；（3）优化田间管理措施，如适时灌溉和施肥，为天敌创造有利环境；（4）建立示范区，推广西兰花-小麦间作的生态防控模式。在本研究基础上以下相关工作值得进一步研究：首先，本研究调查时间仅覆盖春季 4-5 月，将来进一步监测全生育期天敌-害虫种群动态；其次，不同间作密度对天敌群落的影响值得进一步探讨；第三，利用田间笼罩的方法评估天敌对小麦害虫的控害效能。

参考文献 **(References)**

Aparicio Y, Gabarra R, Arnó J, 2018. Attraction of *Aphidius ervi* (Hymenoptera: Braconidae) and *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae) to sweet *Alyssum* and assessment of plant resources effects on their fitness. *Journal of Economic Entomology*, 111(2): 533–541.

Baker BP, Green TA, Loker AJ, 2020. Biological control and integrated pest management in organic and conventional systems. *Biological Control*, 140: 104095.

Flint ML, Bosch RVD, 1981. Introduction to Integrated Pest Management. New York: Plenum. 51–81.

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.]

Hei ZW, Xiang HM, Zhang JE, Liang KM, Zhong JW, Li MJ, Ren XQ, 2022. Mix-cropping of rice and water *Mimosa* (*Neptunia oleracea* Lour.) increases rice photosynthetic efficiency, yield, grain quality and soil available nutrients. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(10): 3972–3982.

Hogg BN, Bugg RL, Daane KM, 2011. Attractiveness of common insectary and harvestable floral resources to beneficial insects. *Biological Control*, 56(1): 76–84.

Huang WD, Liang JF, Peng F, Sang W, Chen XS, Wang XM, 2022. Molecular identification of *Euwallacea fornicatus* based on multiplex PCR with universal primers. *Journal of Environmental Entomology*, 44(4): 994–1001. [黄卫东, 梁建锋, 彭锋, 桑文, 陈晓胜, 王兴民, 2022. 基于通用引物的多重PCR对小圆胸小蠹的分子鉴定. 环境昆虫学报, 44(4): 994–1001.]

Ma SJ, 1979. Integrated Pest Control in China. Beijing: Science Press. 1–21. [马世骏, 1979. 中国主要害虫综合防治. 北京: 科学出版社. 1–21.]

Mo LF, Zhi JF, Tian T, 2013. Biological control efficiency of *Orius similis* Zheng (Hemiptera: Anthocoridae) on *Frankliniella occidentalis* (Pergande) under different spatial and caged conditions. *Acta Ecologica Sinica*, 33(22): 7132–7139. [莫利锋, 郅军锐, 田甜, 2013. 南方小花蝽在不同空间及笼罩条件下对西花蓟马的控制作用. 生态学报, 33(22): 7132–7139.]

Obanyi JN,Ogendo JO, Mulwa RMS, Nyaanga JG, Cheruiyot EK, Bett PK, Belmain SR, Arnold SEJ, Nash-Woolley VC, Stevenson PC, 2023. Field margins and cropping system influence diversity and abundance of aphid natural enemies in *Lablab purpureus*. *Journal of Applied Entomology*, 147(7): 439–451.

Ouyang F, Men XY, Guan XM, Xiao YL, Ge F, 2016. Ecological effect of regional agricultural landscape pattern on wheat aphids and their natural enemies. *Scientia Sinica* (*Vitae*), 46(1): 139–150. [欧阳芳, 门兴元, 关秀敏, 肖云丽, 戈峰, 2016. 区域性农田景观格局对麦蚜及其天敌种群的生态学效应. 中国科学: 生命科学, 46(1): 139–150.]

Shrestha B, Finke DL, Piñero JC, 2019. The ‘botanical triad’: The presence of insectary plants enhances natural enemy abundance on trap crop plants in an organic cabbage agro-ecosystem. *Insects*, 10(6): 181.

Song XC, 2012. Study on the adaptation of *Aphidius gifuensis* Ashmead to the hosts of wheat aphids and low temperature. Master dissertation. Tai’an: Shandong Agricultural University. [宋修超, 2012. 烟蚜茧蜂对麦蚜及低温的适应性研究. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学.]

Sun Y, Hu CX, Wu DH, Chen GH, Yin HH, Xu TY, Chen T, Zhang XM, 2021. Population dynamics of *Orius similis* and *Thrips flavus* and predatory function response. *Chinese Journal of*

Biological Control, 37(3): 451–458. [孙英, 胡昌雄, 吴道慧, 陈国华, 殷红慧, 徐天养, 陈婷, 张晓明, 2021. 南方小花蝽和黄蓟马的种群动态及捕食功能反应. 中国生物防治学报, 37(3): 451–458.]

Tang MM, Zhao FY, He RL, Dong N, 2022. Analysis on the yield advantage of wheat intercropping with oil and wheat. *Agricultural Technology Service*, 39(11): 8–10. [唐明明, 赵飞扬, 贺瑞龙, 董楠, 2022. 油麦间作对小麦产量优势分析. 农技服务, 39(11): 8–10.]

Tang PH, Chen GP, Zhu MK, Ren LJ, Hu ZL, 2013. Advances in aphid control technology. *Plant Protection*, 39(2): 5–12, 19. [唐平华, 陈国平, 朱明库, 任丽军, 胡宗利, 2013. 蚜虫防治技术研究进展. 植物保护, 39(2): 5–12, 19.]

Wang ZY, He KL, Zhang F, Lu X, Babendreier D, 2014. Mass rearing and release of *Trichogramma* for biological control of insect pests of corn in China. *Biological Control*, 68: 136–144.

Xiang HM, Lan N, Wang FG, Zhao BL, Wei H, Zhang JE, 2021. Reduced pests, improved grain quality and greater total income: Benefits of intercropping rice with *Pontederia cordata*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(14): 5907–5917.

Xie HC, Chen JL, Cheng DF, Zhou HB, Sun JR, Liu Y, Francis F, 2012. Impact of wheat-mung bean intercropping on English grain aphid (Hemiptera: Aphididae) populations and its natural enemy. *Journal of Economic Entomology*, 105(3): 854–859.

Yan J, Wang Y, Li Q, Wang Q, Tan XL, Chen JL, 2020. Effects of silicon application on the wheat and wheat aphids in the soil. *Journal of Plant Protection*, 47(6): 1228–1233. [闫甲, 王怡, 李迁, 王倩, 谭晓玲, 陈巨莲, 2020. 土壤施硅对小麦和麦蚜的影响. 植物保护学报, 47(6): 1228–1233.]

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.]

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 M, Liu QJ, Tang YY, Liang C, Chen B, Du GZ, Wu GX, Gao X, 2024. Effect of maize-soybean intercropping on maize yield and arthropod community composition. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 61(2): 429–441. [张曼, 刘全俊, 汤永玉, 梁晨, 陈斌, 杜广祖, 吴国星, 高熹, 2024. 玉米大豆间作对玉米产量及节肢动物群落的影响. 应用昆虫学报, 61(2): 429–441.]

Zhu PY, 2012. Ecological functions of flowering plants in enhancing biological control od key natural enemies on rice planthopper. Master dissertation. Hangzhou: Zhejiang Normal University. [朱平阳, 2012. 显花植物对稻飞虱卵期主要天敌的生态功能. 硕士学位论文. 杭州: 浙江师范大学.]

Zhu ZY, Di N, Zhang F, Xu ZG, Wang S, 2022. Research progress and prospect of minute pirate bug *Orius sauteri*. *Journal of Plant Protection*, 49(6): 1551–1564. [朱正阳, 邸宁, 张帆, 徐志刚, 王甦, 2022. 天敌昆虫东亚小花蝽研究进展与展望. 植物保护学报, 49(6): 1551–1564.]