

新疆库尔勒棉区吸虫塔诱捕节肢动物 种群动态及其相关性分析*

贾孟瑶^{1,2**} 陈鑫^{1,2} 褚长杰^{2,3} 路伟^{1***} 潘洪生^{2***}

(1. 新疆农业大学农学院, 棉花教育部工程研究中心, 丝绸之路经济带棉花优质高效协同创新中心, 乌鲁木齐 830052;
2. 新疆维吾尔自治区农业科学院植物保护研究所, 农业农村部植物保护巴音郭楞野外科学观测研究站, 乌鲁木齐 830091;
3. 西北农林科技大学植物保护学院, 植保资源与病虫害治理教育部重点实验室, 杨凌 712100)

摘要 【目的】明确新疆库尔勒棉区棉田冠层上部节肢动物群落的组成结构、主要害虫与天敌的种群动态及发生规律, 并分析二者之间的相关性, 为农田生态系统中害虫发生预警及天敌控害作用提供数据支撑。【方法】于 2022–2025 年采用吸虫塔对新疆库尔勒棉区棉田冠层上部节肢动物群落开展系统监测。

【结果】共诱捕节肢动物 9 目 40 科 159 148 头, 主要类群包括半翅目 Hemiptera (有翅蚜虫类、飞虱类)、双翅目 Diptera (蝇类、蚊类)、缨翅目 Thysanoptera (蓟马类) 和膜翅目 Hymenoptera (寄生蜂类)。多样性分析显示, Shannon 多样性和 Margalef 丰富度指数在 2024 年 4 月为 4 年中最高值。在主要害虫类群中发现, 有翅蚜虫类发生高峰期集中在 6–8 月; 蓟马类数量逐年上升且与棉花花期吻合; 叶蝉类在 2025 年数量最多。天敌类群中, 瓢虫类对蚜虫类表现出持续的跟随效应; 蜘蛛类的捕食对象随年份变化, 并于 2024 和 2025 年与飞虱类形成较稳定的捕食关系; 草蛉类在 2022 年与蓟马类表现出较高的相关性。【结论】库尔勒棉区节肢动物群落物种数量逐年上升, 物种较为丰富, 主要害虫与天敌在部分时间存在互作关系。该研究结果为构建棉田害虫综合治理策略提供了科学依据, 对促进农业可持续发展具有重要意义。

关键词 吸虫塔; 棉田节肢动物群落; 多样性; 相关性分析; 种类组成; 害虫与天敌

Population dynamics of arthropods captured using suction traps in the Korla cotton-growing region of Xinjiang

JIA Meng-Yao^{1,2**} CHEN Xin^{1,2} CHU Chang-Jie^{2,3} LU Wei^{1***} PAN Hong-Sheng^{2***}

(1. Silk Road Economic Belt Cotton High-quality and Efficient Collaborative Innovation Centre, Engineering Research Centre of Cotton, Ministry of Education, College of Agriculture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;
2. Plant Protection Scientific Observation and Research Station in Bayingol of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Plant Protection, Xinjiang Uygur Autonomous Region Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China;
3. Key Laboratory of Plant Protection Resources and Pest Management of Ministry of Education, College of Plant Protection, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract [Aim] To clarify the composition and structure of the arthropod community in the upper canopy of cotton fields in the Korla cotton-growing region of Xinjiang, determine the population dynamics and occurrence patterns of the major pests and their natural enemies and analyze correlations between these, thereby improving the forecasting of pest outbreaks and the evaluation of the pest control function of natural enemies within agricultural ecosystems. [Methods] Systematic monitoring of the arthropod community in the upper canopy of cotton fields in the Korla cotton-growing region of Xinjiang was conducted using suction traps from 2022 to 2025. [Results] A total of 159 148 individual arthropods, belonging to 9 orders and 40

*资助项目 Supported projects: 自治区重点研发专项 (2024B02003); 新疆维吾尔自治区杰出青年科学基金 (2023D01E09); 新疆维吾尔自治区现代农业产业技术体系 (XARS-03); 自治区“天山英才”三农骨干人才 (2023SNGGGCC032)

**第一作者 First author, E-mail: 1783183842@qq.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: teerakon@sina.com; panhongsheng0715@163.com

收稿日期 Received: 2026-01-28; 接受日期 Accepted: 2026-03-28

families, were captured. The main taxa were the Hemiptera (winged aphids and planthoppers), Diptera (flies and mosquitoes), Thysanoptera (thrips), and the Hymenoptera (parasitic wasps). The highest Shannon diversity and Margalef richness indices over the four-year study period were recorded in April 2024. Among the major pest groups, winged aphids peaked from June to August, thrip abundance increased annually and coincided with cotton flowering, and leafhoppers were most abundant in 2025. Ladybeetles consistently tracked aphid populations, spiders showed year-to-year variation in prey targets, forming relatively stable predatory relationships with planthoppers in 2024 and 2025, and green lacewings were strongly correlated with thrips in 2022. **[Conclusion]** Arthropod community species richness increased year by year in the Korla cotton-growing region, which has a relatively high overall species diversity. Significant interactions between major pests and their natural enemies were observed during certain periods. These findings provide a scientific basis for developing integrated pest management strategies in cotton fields and have significant implications for promoting sustainable agricultural practices.

Key words suction trap; arthropod community in cotton fields; diversity; correlation analysis; species composition; pests and natural enemies

新疆是我国主要的棉花生产基地, 2025 年其棉花种植面积和总产量分别为 259.16 万 hm^2 和 616.50 万吨, 占全国总量的 86.99% 和 92.83% (国家统计局, 2025)。新疆棉花生产呈现显著的空间集聚趋势, 逐步向天山南北坡的优势产区集中, 目前已形成北疆和南疆盆地北缘两大优势产区。其中, 南疆地区依托优越的农业生产条件与不断优化的种植结构, 正逐步成为推动新疆棉花产业高质量发展的核心区域 (马佳琦等, 2025)。2024 年新疆地区转 Bt 基因抗虫棉花种植比例已达 95.80%, 其中南疆地区高达 98.23% (贾孟瑶等, 2025)。随着转 Bt 基因棉花种植比例的增加, 棉区生态系统的昆虫群落结构也发生了一定的变化 (雒珺瑜等, 2016), 主要表现为转 Bt 基因棉花对靶标害虫棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 的有效控制, 引发了非靶标害虫及其天敌的种群动态发生相应变化, 这一变化不仅直接影响害虫种群动态, 也对整个农业生态系统的稳定性产生深远影响 (陆宴辉和梁革梅, 2016; 王淳等, 2025)。

节肢动物群落是农田生态系统的重要组成部分, 其物种组成、营养结构及功能群配置能够有效反映农田生态系统的功能状态和稳定性, 因而常被用作生物多样性变化的指示类群 (韩印等, 2015; 李佳宁等, 2025)。节肢动物群落调查方法的选择需根据目标类群的生态习性、栖息环境及研究目的而定 (段美春等, 2021)。不同生物类群乃至同类群之间适用的取样方法各异,

常见方法包括挂盆陷阱法 (挂盆法/彩盘法)、地表陷阱法 (地陷法)、扫网法、目测计数法 (目测法)、吸虫器法及马氏网法, 但每种方法均具有一定的局限性 (蒋月丽等, 2011; 刘向东, 2013; 段美春等, 2021)。棉田节肢动物群落是以棉花栽培系统为核心, 由多种害虫与天敌等节肢动物共同构成的相互作用体系 (李海强等, 2022)。传统棉田节肢动物调查方法多对作物冠层内部、地表及具有趋光性节肢动物取样, 而对冠层上部空间活动的节肢动物难以有效捕获, 导致该类昆虫的群落动态信息较为缺乏 (蒋月丽等, 2012)。为预警冠层上部蚜虫的迁飞动态并研究其它小型昆虫的种群动态, 多个国家相继采用吸虫塔开展观测 (Fassotte *et al.*, 2008; 蒋月丽等, 2012)。吸虫塔基于空气动力学原理, 将飞经塔顶管口附近的昆虫吸入塔管, 使其落入底部塔箱中的样品收集瓶, 监测人员定时收集样品并统计目标昆虫的数量, 从而获得节肢动物群落动态数据 (苗麟等, 2011)。

新疆巴音郭楞蒙古自治州 (简称“巴州”) 地处新疆中部, 南缘毗邻天山山脉, 兼具天山南北气候特点, 形成了独特的小气候环境, 是新疆棉花主要种植区之一, 具有一定的地域代表性 (陈绪兰和张娇阁, 2016; 邓小霞等, 2019)。基于此, 本研究选取新疆巴州地区的库尔勒棉区作为研究区域, 利用吸虫塔对棉田冠层上部的节肢动物群落展开系统调查。旨在通过分析其物种多样性、主要害虫与天敌的种群动态、时间生态

位及种间关系,明确该区域节肢动物群落的结构特征与动态规律,为后续深入开展节肢动物群落多样性研究和维护生态平衡,以及推进棉田害虫监测与综合治理提供必要的理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 吸虫塔结构

科云 ST-1B 型太阳能吸虫塔由中国科学院动物研究所研制、北京中科白云绿色生物技术有限公司生产,塔体高度为 8.8 m。塔内主要功能部件为轴流风机,风量达 2 000 m³/h,转速 1 450 r/min,功率 0.12 kW。风机运行时在塔管上端开口处形成负压,可对飞经塔口的昆虫产生吸附作用。

1.2 试验地点

试验地点位于新疆维吾尔自治区农业科学院植物保护研究所库尔勒试验基地(新疆巴州库尔勒市和什力克乡库勒村; 41°45'00"N, 85°48'60"E),该区域周边种植的作物主要是棉花,兼有少量小麦、玉米等作物。

1.3 试验方法

2022-2025 年,于每年 4 月 6 日至 9 月 23 日开展逐日监测,吸虫塔保持全天 24 h 运行。吸虫塔内置 600 mL 收集瓶,内装有 75%乙醇溶液 250 mL,每 5 d 更换一次容量瓶及乙醇溶液,带回实验室后分拣出节肢动物标本,进行分类鉴定与计数统计,并于 -20 °C 冰柜中冷冻保存。分拣小型昆虫时,将标本置于直径 15 cm 的玻璃培养皿中,皿底衬以白纸,后利用 Si9 体式解剖镜(LEICA,德国)进行昆虫形态观察。分类鉴定参考《中国棉花有害生物图鉴》(陆宴辉,2024)、《新疆昆虫原色图鉴》(胡红英和黄金鑫,2012)、《新疆农业昆虫图志》(王登元和于江南,2010)、《中国北方农业害虫原色图鉴》(何振昌,1997)、《农田常见昆虫图鉴》(蒋金炜等,2014)、《中国蚊虫分类系统和检索表》(孟庆华和陈汉

彬,1986)、《棉花病虫草害调查诊断与决策支持系统》(曾娟等,2017)等相关书籍。

1.4 数据分析

节肢动物群落的评价指标通常包括物种丰富度、多样性指数、均匀度指数、优势度指数等(马克平,1994;马克平和刘玉明,1994)。具体计算公式如下:

1) 种群丰富度,指群落中的物种数,以 S 表示。

2) Shannon-Wiener 多样性指数 (H'):

$$H' = -\sum_{i=1}^S (p_i \ln p_i), \quad p_i: \text{第 } i \text{ 个物种的个体数占}$$

总个体数的比例 (n_i/N), S : 物种总数。

3) Simpson 优势度指数: $D = \sum_{i=1}^S p_i^2$ 。

4) Pielou 均匀度指数 (J'): $J' = \frac{H'}{H'_{\max}}$,

$H'_{\max} = \ln S$ (当所有物种个体数相等时)。

5) Margalef 丰富度指数 (R): $R = \frac{S-1}{\ln N}$ 。

以新疆库尔勒棉区吸虫塔调查所获的节肢动物种群数据为基础,采用 Excel 2019 进行数据统计与整理。为直观展示物种数量及主要害虫与天敌的种群变化趋势,利用 Origin 2019 绘制了物种数量变化趋势、节肢动物种群多样性及主要害虫与天敌种群动态折线图。为进一步探究主要害虫与天敌在时间序列上的协同关系,运用 SPSS 20.0 进行斯皮尔曼(Spearman)相关性分析,并基于分析结果利用 Origin 2019 绘制 Spearman 等级相关热图,从而量化评估主要害虫与天敌的关联强度。

2 结果与分析

2.1 吸虫塔诱捕的节肢动物类群和数量

2022-2025 年,吸虫塔共诱捕节肢动物 9 目 40 科,4 年诱捕数量分别为 11 323、34 778、53 106 和 59 941 头,共计 159 148 头(表 1)。尽管目级分类组成完全一致,但科级分类存在一

表 1 2022-2025 年吸虫塔诱捕的节肢动物类群和数量
Table 1 Arthropod groups and their abundance captured by suction traps from 2022 to 2025

目 Order	科 Family	2022		2023		2024		2025		
		虫量 (头) Number of insects (ind.)	比例 (%) Proportion (%)	虫量 (头) Number of insects (ind.)	比例 (%) Proportion (%)	虫量 (头) Number of insects (ind.)	比例 (%) Proportion (%)	虫量 (头) Number of insects (ind.)	比例 (%) Proportion (%)	
半翅目 Hemiptera	蚜科 Aphididae	3 730	32.942	2 519	7.243	6 271	11.808	11 257	18.780	
	毛蚜科 Chaitophoridae	815	7.198	741	2.131	425	0.800	225	0.375	
	叶蝉科 Cicadellidae	132	1.166	609	1.751	1 220	2.297	1 380	2.302	
	飞虱科 Delphacidae	115	1.016	31	0.089	47	0.089	69	0.115	
	木虱科 Psyllidae	22	0.194	31	0.089	13	0.024	12	0.020	
	盲蝽科 Miridae	37	0.327	81	0.233	80	0.151	162	0.270	
	蝽科 Pentatomidae	6	0.053	50	0.144	54	0.102	88	0.147	
	长蝽科 Lygaeidae	0	0.000	2	0.006	4	0.008	4	0.007	
	鞘翅目 Coleoptera	瓢甲科 Coccinellidae	161	1.422	121	0.348	161	0.303	193	0.322
		步甲科 Carabidae	5	0.044	97	0.279	44	0.083	49	0.082
		拟步甲总科 Tenebrionoidea	1	0.009	27	0.078	8	0.015	15	0.025
		隐翅甲科 Staphylinidae	10	0.088	218	0.627	174	0.328	219	0.365
		叶甲科 Chrysomelidae	1	0.009	1	0.003	3	0.006	0	0.000
		叩甲科 Elateridae	3	0.026	2	0.006	10	0.019	4	0.007
象甲科 Curculionidae		0	0.000	1	0.003	1	0.002	13	0.022	
金龟科 Scarabaeidae		4	0.035	2	0.006	14	0.026	8	0.013	
窃蠹科 Anobiidae		0	0.000	3	0.009	1	0.002	0	0.000	
露尾甲科 Nitidulidae		0	0.000	1	0.003	1	0.002	1	0.002	
膜翅目 Hymenoptera	锯谷盗科 Silvanidae	8	0.071	164	0.472	532	1.002	271	0.452	
	姬蜂科 Ichneumonidae	6	0.053	132	0.380	113	0.213	41	0.068	

续表 1 (Table 1 continued)

目 Order	科 Family	2022			2023			2024			2025		
		虫量(头) Number of insects (ind.)	比例(%) Proportion (%)	虫量(头) Number of insects (ind.)	比例(%) Proportion (%)	虫量(头) Number of insects (ind.)	比例(%) Proportion (%)	虫量(头) Number of insects (ind.)	比例(%) Proportion (%)	虫量(头) Number of insects (ind.)	比例(%) Proportion (%)	虫量(头) Number of insects (ind.)	比例(%) Proportion (%)
膜翅目 Hymenoptera	茧蜂科 Braconidae	0	0.000	1	0.003	18	0.034	12	0.020				
	蚜茧蜂科 Aphididae	501	4.425	604	1.737	4 247	7.997	4 374	7.297				
	缘腹细蜂科 Scelionidae	0	0.000	0	0.000	19 041	35.855	3 073	5.127				
	蜜蜂科 Apidae	1	0.009	9	0.026	3	0.006	2	0.003				
	蝇科 Calyptratae	446	3.939	2 803	8.060	1 839	3.463	2 136	3.564				
	果蝇科 Drosophilidae	253	2.234	141	0.405	132	0.249	125	0.209				
	潜蝇科 Agtomyzidae	1 128	9.962	7 758	22.307	5 106	9.615	4 375	7.299				
	食蚜蝇科 Syrphidae	20	0.177	101	0.290	32	0.060	40	0.067				
	丽蝇科 Calliphoridae	4	0.035	29	0.083	19	0.036	8	0.013				
	花蝇科 Anthomyiidae	11	0.097	13	0.037	9	0.017	4	0.007				
双翅目 Diptera	蚊科 Culicidae	1 094	9.662	7 554	21.721	7 303	13.752	4 022	6.710				
	摇蚊科 Chironomidae	219	1.934	713	2.050	689	1.297	1 189	1.984				
	瘿蚊科 Cecidomyiidae	13	0.115	92	0.265	88	0.166	1 842	3.073				
	大蚊科 Tipulidae	0	0.000	1	0.003	2	0.004	7	0.012				
	食虫虻科 Asilidae	0	0.000	1	0.003	0	0.000	0	0.000				
	夜蛾科 Noctuidae	12	0.106	6	0.017	15	0.028	7	0.012				
	草蛉科 Chrysopidae	25	0.221	56	0.161	7	0.013	31	0.052				
	蓟马科 Thripsidae	2 437	21.523	9 796	28.167	4 853	9.138	24 324	40.580				
	蛛形纲 Araneida	103	0.910	266	0.765	525	0.989	357	0.596				
	蜉蝣目 Ephemeroptera	0	0.000	1	0.003	2	0.004	2	0.003				
总数 Total	11 323	100	34 778	100	53 106	100	59 941	100					

定差异。诱捕的节肢动物群落以半翅目的蚜虫类、双翅目的蝇类和蚊类、缨翅目的蓟马类以及膜翅目寄生蜂类为主, 五类昆虫在 4 年的诱捕总量分别为 25 983、26 532、24 828、41 410 和 31 840 头, 占总诱捕量的比例依次为 16.33%、16.67%、15.60%、26.02%和 20.01%。整体上, 物种数在 2022-2025 年间呈现持续增长趋势 (图 1), 自 2023 年起增长尤为明显, 至 2025 年多数月份达到 4 年中的最高水平, 从月份比较来看, 除 2022 年外, 其余年份物种数均在 8 月份达到高峰, 而 5 月份物种数在 4 年间呈现稳步增长的趋势。

2.2 吸虫塔诱捕的节肢动物种群多样性

2022-2025 年, 库尔勒棉区节肢动物种群多样性呈现不同变化趋势 (图 2: A-D)。Shannon

多样性指数在 4 年间波动幅度较大, 所有观测值介于 1.178-2.262 之间, 其最低值出现在 2025 年 8 月, 最高值则在 2024 年 4 月。Margalef 丰富度指数在 2024 年整体较高, 其中 4 月达到 4 年中

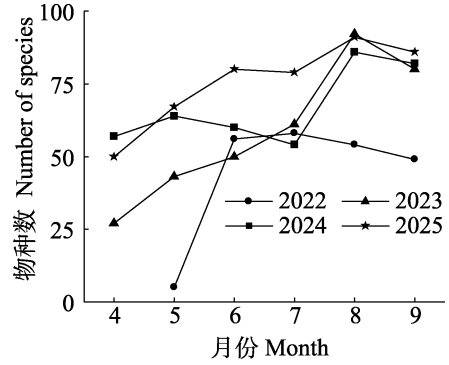


图 1 2022-2025 年不同月份物种数量变化趋势
Fig. 1 Trends in species quantity in different month from 2022 to 2025

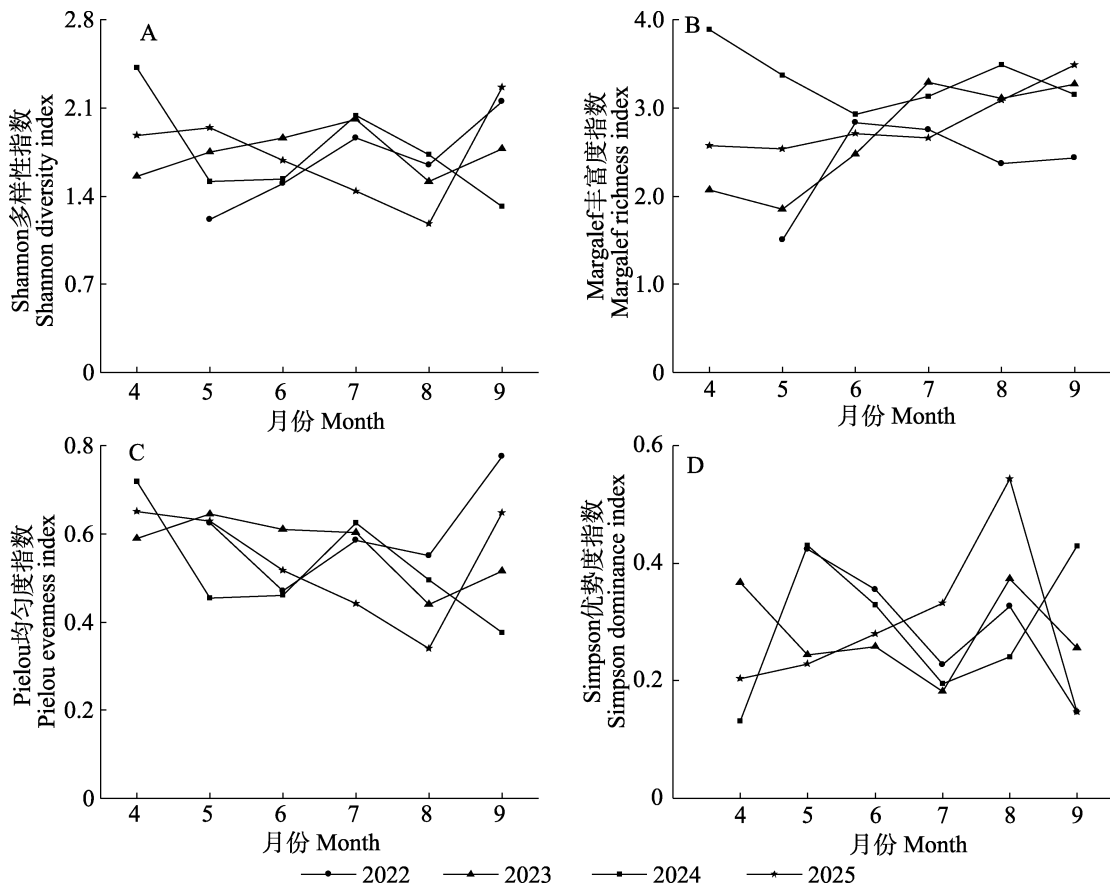


图 2 2022-2025 年吸虫塔诱捕的节肢动物种群多样性

Fig. 2 Diversity of arthropod populations captured by suction traps from 2022 to 2025

A. Shannon 多样性指数; B. Margalef 丰富度指数; C. Pielou 均匀度指数; D. Simpson 优势度指数。
A. Shannon diversity index; B. Margalef richness index; C. Pielou evenness index; D. Simpson dominance index.

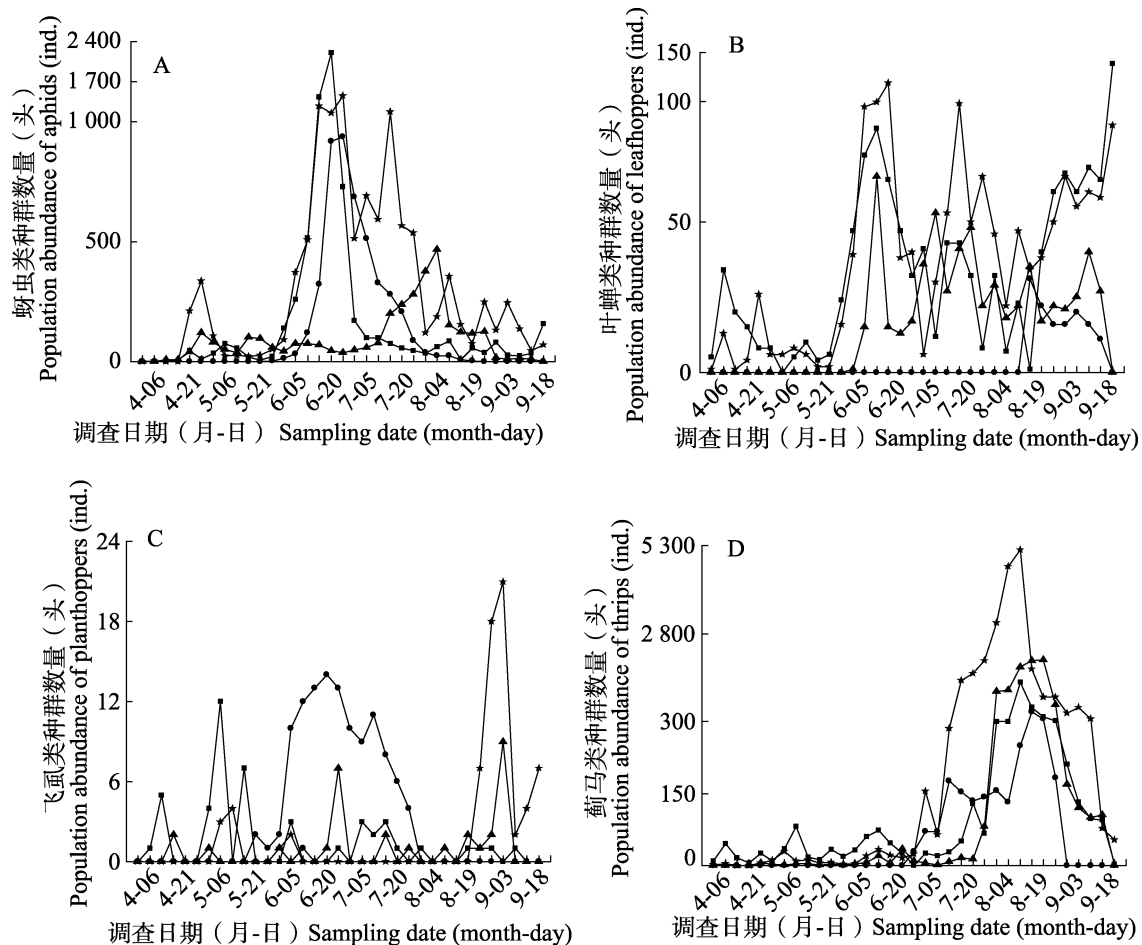
的最高值, 而最低值出现在 2022 年 5 月。Pielou 均匀度指数在 4 年间整体处于中等水平 (J' 介于 0.44-0.72 之间), 每年 7-8 月均呈现下降趋势, 并于 2025 年 8 月降至最低。Simpson 优势度指数与 Shannon 多样性指数变化趋势相反, 表现为低优势度对应高多样性, 在 4 年中均在 7-8 月份上升, 2025 年 8 月达到最高值。

2.3 主要害虫和天敌的种群动态

2022-2025 年, 利用吸虫塔诱捕库尔勒棉区节肢动物种群中的主要害虫与天敌均包括 4 个代表性类群, 其中害虫类群为蚜虫类、叶蝉类、飞虱类和蓟马类, 天敌类群为瓢虫类、寄生蜂类、草蛉类和蜘蛛类 (图 3: A-H)。其中, 蚜虫类种群数量呈逐年显著上升趋势, 其发生高峰期集中于每年 6 月下旬至 7 月上旬, 且略有提前趋势。除 2023 年以外, 其余年份蚜虫高峰期发生时间基本一致。2022-2024 年全年仅出现一个高峰期,

高峰期虫量低时占总诱虫量的 34.45%, 发生量高的年份占到总诱虫量的 64.93%; 2025 年蚜虫出现双高峰期, 两次高峰期间隔约半个月, 合计诱捕量占总诱虫量的 43.96%。叶蝉类在 7 月中旬和 8 月中旬均有一个发生高峰, 其中 7 月高峰数量较高。其中叶蝉类在 2025 年发生量最高, 高峰期明显滞后, 主要集中于 8 月中旬至 9 月上旬。飞虱类在 4 年间种群数量始终维持在极低水平, 未形成明显发生高峰。蓟马类在 2024 和 2025 年数量显著上升, 年总量由 2022 年的 132 头增至 2025 年的 1390 头, 其发生高峰稳定出现在 6 月中旬至 7 月中旬 (图 3: A-D)。

对于天敌种群动态, 瓢虫类数量呈稳步增长趋势, 发生高峰期集中在 6 月中旬至 7 月下旬, 与蚜虫高峰期高度吻合。寄生蜂类在 2024 年出现异常高峰, 2025 年数量稍有下降, 其余年份总体偏低; 草蛉类数量整体偏低且年际波动较小, 未出现明显的高峰期。蜘蛛类在 2024 年达



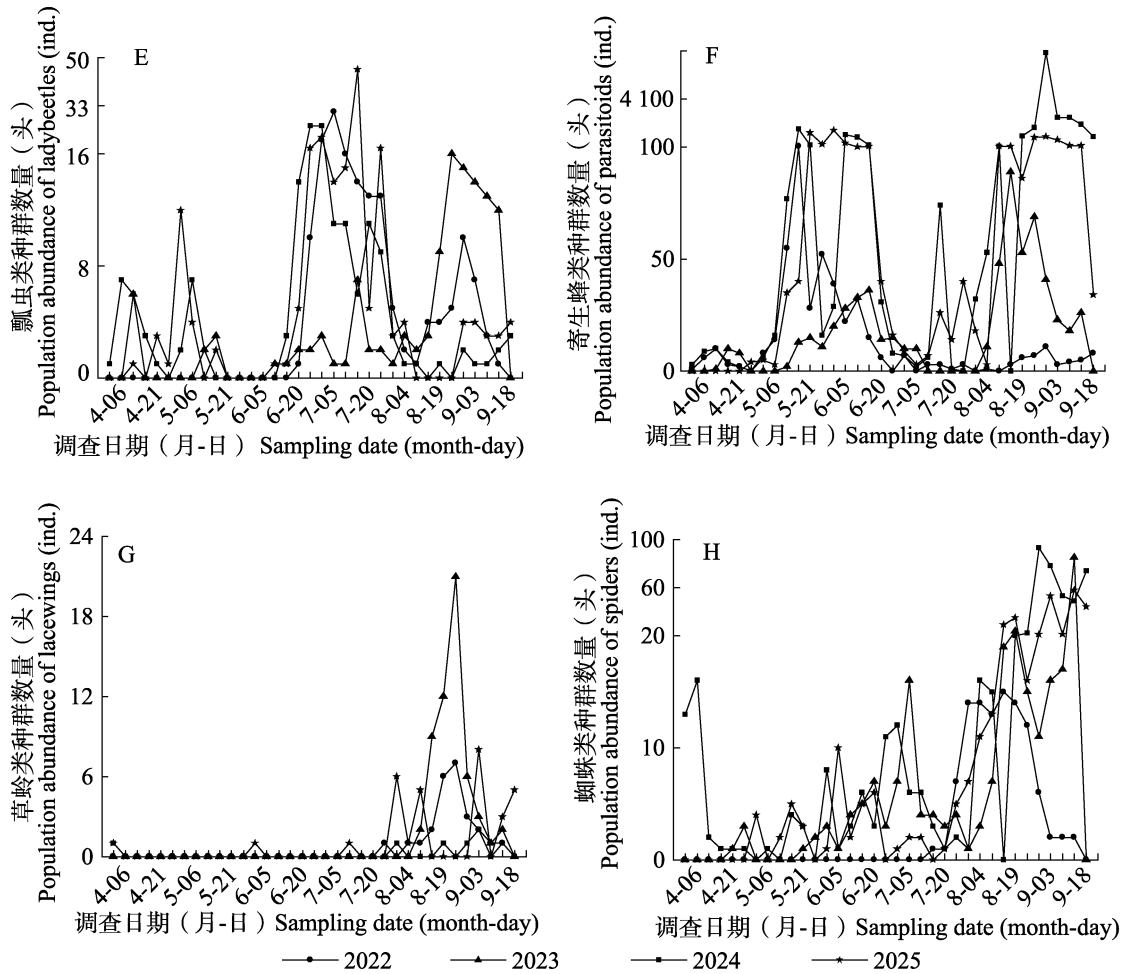


图3 2022-2025年新疆库尔勒棉区主要害虫和天敌的种群动态

Fig. 3 Population dynamics of major pests and natural enemies in the korla cotton-growing region of Xinjiang from 2022 to 2025

A. 蚜虫类; B. 叶蝉类; C. 飞虱类; D. 蓟马类; E. 瓢虫类; F. 寄生蜂类; G. 草蛉类; H. 蜘蛛类。
A. Aphids; B. Leafhoppers; C. Planthoppers; D. Thrips; E. Ladybeetles; F. Parasitoids; G. Lacewings; H. Spiders.

到峰值, 2025年稍有回落, 其发生高峰期集中在8月下旬至9月中旬, 与叶蝉暴发期在时间与空间上重叠。总体而言, 棉田节肢动物群落前期(6-7月)以蚜虫、蓟马及其天敌瓢虫为主要构成, 后期(8-9月)则演替为以叶蝉和蜘蛛为主要互作用单元的系统(图3: E-H)。

2.4 主要害虫和天敌的时间生态位

2022-2025年主要害虫和天敌在时间资源利用格局与种间时间关联方面呈现动态波动。时间生态位宽度分析结果显示, 蚜虫类在2023年达到峰值(3.444); 叶蝉类的生态位宽度呈持续扩展趋势, 由2022年的1.996逐年增至2025年的

4.340; 飞虱类生态位宽度2025年最低(1.694), 2023和2024年保持在高于3.200的生态位; 而蓟马一直维持在较低生态位(<2.000)。瓢虫类在2023和2024年保持在较宽的生态位(>3.200); 寄生蜂类的生态位宽度年度间波动剧烈, 其中寄生蜂在2024年出现急剧收窄(0.066); 草蛉类与其他天敌相比波动相对平缓, 4年保持在1.508-2.385; 蜘蛛类最低生态位宽度出现在2022年(1.591)(表2)。

时间生态位重叠指数分析表明, 瓢虫类与蚜虫类在4年间均保持较高的重叠水平(0.582-0.786); 随着叶蝉类在群落中的重要性上升, 瓢虫类与其重叠指数自2023年起有所增加。蜘蛛

表 2 2022-2025 年新疆库尔勒棉区主要害虫和天敌的时间生态位宽度
Table 2 Temporal niche breadth of major pests and natural enemies in the Korla cotton-growing region of Xinjiang from 2022 to 2025

年份 Year	蚜虫类 Aphids	叶蝉类 Leafhoppers	飞虱类 Planthoppers	蓟马类 Thrips	瓢虫类 Ladybeetles	寄生蜂类 Parasitoids	草蛉类 Lacewings	蜘蛛类 Spiders
2022	2.084	1.996	2.064	1.793	2.046	1.004	1.844	1.591
2023	3.444	3.686	3.829	1.163	3.309	3.368	1.508	3.022
2024	1.588	4.339	3.273	1.902	3.287	0.066	2.333	2.137
2025	3.132	4.340	1.694	1.881	2.361	3.953	2.385	2.450

类与叶蝉类的重叠指数在各年均处于较高水平 (0.686-0.831), 且在 2025 年与飞虱类的重叠指数高至 0.925。草蛉类与叶蝉类的重叠指数在多数年份也较高, 2022、2024 和 2025 年分别为 0.938、0.742 和 0.657 (表 3)。

2.5 主要害虫和天敌的相关性分析

2022-2025 年主要害虫和天敌相关性的分析表明, 不同年份间相关性特征存在明显差异 ($P \leq 0.05$) (图 4: A-D)。2022 年以普遍正相关为主, 其中蓟马类与瓢虫类 ($r_s = 0.89$)、草蛉类 ($r_s = 0.92$) 及蜘蛛类 ($r_s = 0.92$) 的相关性均较高, 瓢虫类与蚜虫类亦呈显著正相关 ($r_s = 0.67$)。

2023 年蜘蛛类与蓟马类的相关性达 0.94, 瓢虫类与蓟马类为 0.84, 但瓢虫类与蚜虫类的相关性转为微弱负值 ($r_s = -0.058$)。2024 年负相关关系更为突出, 飞虱类与蜘蛛类 ($r_s = -0.94$)、草蛉类 ($r_s = -0.82$) 呈极强负相关, 蚜虫类与叶蝉类则呈较强正相关 ($r_s = 0.77$)。2025 年瓢虫类与蚜虫类相关性恢复至 0.71, 蜘蛛类与飞虱类也呈现正相关关系 ($r_s = 0.88$)。

3 讨论

国内关于棉区节肢动物群落多样性的研究已有较多积累, 多采用常规田间调查方法, 重点

表 3 2022-2025 年新疆库尔勒棉区主要害虫和天敌的重叠指数
Table 3 Niche overlap indices between major pests and natural enemies in the Korla cotton-growing region of Xinjiang from 2022 to 2025

年份 Year	天敌类群 Natural enemy groups	蚜虫类 Aphids	叶蝉类 Leafhoppers	飞虱类 Planthoppers	蓟马类 Thrips
2022	瓢虫类 Ladybeetles	0.719	0.264	0.653	0.567
	寄生蜂类 Parasitoids	0.744	—	0.800	0.016
	草蛉类 Lacewings	0.065	0.938	0.033	0.864
	蜘蛛类 Spiders	0.112	0.831	0.073	0.943
2023	瓢虫类 Ladybeetles	0.588	0.728	0.811	0.559
	寄生蜂类 Parasitoids	0.804	0.706	0.742	0.842
	草蛉类 Lacewings	0.756	0.529	0.426	0.978
	蜘蛛类 Spiders	0.544	0.741	0.844	0.501
2024	瓢虫类 Ladybeetles	0.582	0.666	0.535	0.203
	寄生蜂类 Parasitoids	0.212	0.798	0.223	0.338
	草蛉类 Lacewings	0.079	0.742	0.168	0.567
	蜘蛛类 Spiders	0.169	0.804	0.184	0.367
2025	瓢虫类 Ladybeetles	0.786	0.667	0.179	0.373
	寄生蜂类 Parasitoids	0.615	0.828	0.698	0.403
	草蛉类 Lacewings	0.252	0.657	0.863	0.658
	蜘蛛类 Spiders	0.283	0.686	0.925	0.560

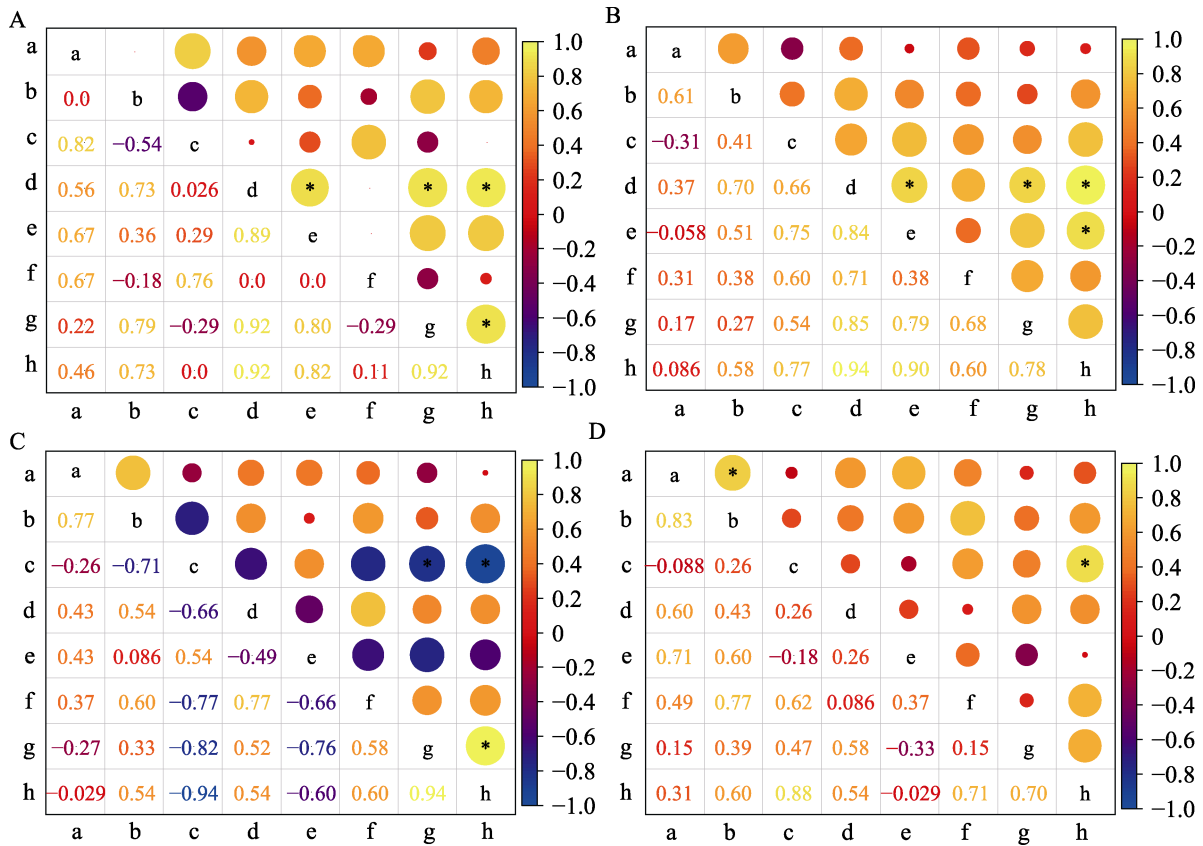


图 4 2022-2025 年新疆库尔勒棉区主要害虫和天敌的 Spearman 等级相关热图
 Fig. 4 Spearman rank correlation heatmap of major pests and natural enemies in the Korla cotton-growing region of Xinjiang from 2022 to 2025

A. 2022; B. 2023; C. 2024; D. 2025。a: 蚜虫类; b: 叶蝉类; c: 飞虱类; d: 蓟马类; e: 瓢虫类; f: 寄生蜂类; g: 草蛉类; h: 蜘蛛类。

图中颜色深浅代表 Spearman 相关系数 (r_s) 的大小, 左下角数字代表相关系数, 圆圈的大小和颜色深浅表示相关性强弱, 相关性越强, 圆圈面积越大, 颜色越深 (*表示 $P \leq 0.05$, Spearman 等级相关检验)。

A. 2022; B. 2023; C. 2024; D. 2025. a: Aphids; b: Leafhoppers; c: Planthoppers; d: Thrips; e: Ladybeetles; f: Parasitoids; g: Lacewings; h: Spiders.

Color intensity represents the magnitude of the Spearman correlation coefficient (r_s), the number in the lower left corner represents the correlation coefficients. The size and color intensity of the circles indicate the strength of the correlation. The stronger the correlation, the larger the circle area and the darker the color (* $P \leq 0.05$, Spearman's rank correlation test).

分析不同区域棉田内节肢动物的群落组成与结构特征 (姜义平等, 2020; 李海强等, 2022; 王淳等, 2025)。尽管此类研究能够反映物种在空间维度上的资源利用变化, 但其多聚焦于田间内部生态位, 难以全面揭示不同区域间害虫与天敌群落的显著差异 (王淳等, 2025)。从采集技术来看, 灯诱法对趋光性昆虫具有较好的诱集效果, 但对非靶标类群存在明显盲区 (王凤良等, 2013; 姜玉英等, 2017), 吸虫塔的介绍可以有效弥补这一技术空白。作为国际上监测迁飞性昆

虫的经典工具, 吸虫塔在我国的应用已从早期的蚜虫监测逐步拓展至更广泛的昆虫群落研究领域 (邵天玉等, 2015)。研究表明, 吸虫塔不仅能提前预警大豆蚜 *Aphis glycines* 的田间始见期和高峰期 (徐蕾等, 2016), 更可有效监测田间冠层上部空间的昆虫群落动态, 从而突破地面调查的空间局限性 (邵天玉等, 2015)。

节肢动物种群动态是评估棉田环境安全的关键指标, 对生态系统可持续发展和害虫监测预警具有重要意义 (李淑英等, 2018; 雒珺瑜等,

2018; 潘艺元等, 2023)。本研究于 2022-2025 年利用吸虫塔在棉田冠层上部共诱捕节肢动物 9 目 40 科 159 148 头。吕文彦等 (2009) 对棉田冠层内节肢动物种群的调查表明, 春棉田昆虫群落包含 9 目 30 科, 夏棉田为 10 目 30 科; 而吸虫塔在小麦冠层上部诱捕的节肢动物种群为 8 目 38 科 (蒋月丽等, 2012), 在玉米 *Zea mays*、大豆 *Glycine max*、水稻 *Oryza sativa*、高粱 *Sorghum bicolor* 及多种杂粮作物上部诱捕的节肢动物种群为 7 目 31 科 (张强等, 2013)。比较两种调查方法和不同作物同种调查方法所得数据发现, 虽然取样时间和地点存在差异, 但不同空间所获节肢动物群落的组成与多样性仍具有明显的相似性, 表明吸虫塔取样可在一定程度上有效反映棉田节肢动物的组成及其动态特征 (蒋月丽等, 2011)。两种方法采集到的部分纲、目、科、种上存在差异, 说明两种方法具有一定的互补性, 且各自均具有一定的局限性, 该结论与蒋月丽等 (2012) 利用吸虫塔诱集麦田上空节肢动物种群的研究结果相符。本研究中吸虫塔在新疆库尔勒棉区诱捕的节肢动物以半翅目 (蚜虫类、飞虱类)、双翅目 (蝇蚊类)、缨翅目 (蓟马类) 和膜翅目 (寄生蜂类) 为主, 符合温带农田生态系统的典型特征, 此结果也与潘艺元等 (2023) 在吉林蚜虫群落研究中观察到的“优势种主导多样性”模式相一致。

在本研究的 4 年间, 物种数呈现持续增长趋势, 反映出棉区节肢动物群落趋于物种更丰富、结构更稳定的发展趋势。Shannon 多样性指数的年均值由高到低依次为 2024 年 > 2023 年 > 2025 年 > 2022 年, 表明 2024 年库尔勒棉区昆虫群落结构最为复杂, 节肢动物种群整体多样性处于中等偏低水平, 这可能与温度变化对昆虫群落的直接或间接影响有关 (Abarca and Spahn, 2021; 李秋荣, 2022)。此外, 4 年数据均显示 8 月多样性出现下降趋势, 结合物种数 (图 1) 和种群动态 (图 3) 可知, 该月蓟马类害虫大量发生。2024 年的 Margalef 丰富度指数年均值为 4 年最高 ($R=3.32$), 与多样性指数变化趋势一致, 整体呈先降后升, 这与调查时种群数量的变化一

致。Pielou 均匀度指数在 2022 年最高, 说明该年份物种群落结构较为均匀, 同时 4 年间年均值差异较小, 反映昆虫群落结构整体较为稳定。Simpson 优势度指数在 2022 和 2024 年较高 (分别为 0.295 和 0.292), 说明这两个年份优势种突出, 且 7-8 月呈现上升趋势, 与多样性指数和均匀度指数呈相反趋势, 推测因优势种显著增多, 如蓟马大量发生, 导致群落多样性和均匀度下降 (Yang *et al.*, 2017; 路娜等, 2022)。

新疆作为我国棉花主产区, 系统研究棉田害虫及其天敌的发生动态规律, 有助于揭示重大害虫的群落演替过程和暴发成因, 从而为科学防控提供重要依据 (陆宴辉, 2021)。本研究调查结果显示, 蚜虫类发生高峰期集中在 6 月底至 7 月初, 而瓢虫类则出现 7 月中旬和 8 月中旬两个发生高峰; 从害虫和天敌种群的整体动态以及生态位宽度与重叠分析来看, 瓢虫类对蚜虫类表现出明显的跟随效应, 二者生态位重叠指数高达 0.786 (2025 年), 显示出明显的跟随效应与控害潜力。该规律与蒋月丽 (2012) 在麦田研究中发现的天敌滞后害虫 10-20 d 的规律一致, 可能由于棉田瓢虫类具有更强的寄主定位效率。尽管寄生蜂类的发生高峰期也滞后于蚜虫类, 但两者的生态位重叠指数仍较高 (0.744-0.804), 这可能与寄生蜂类长期维持较低的种群数量有关 (Li *et al.*, 2018)。这一结果支持了棉花寄生蜂类天敌 (如蚜小蜂、蚜茧蜂) 与蚜虫种群在发生时间上并不同步的已有研究结论, 说明其种群受年度间气候条件或寄主资源波动的影响较大 (Yang *et al.*, 2017; 胡道武等, 2018; 樊承汉等, 2025)。蓟马类在 4 年观测中高峰期稳定出现在 8 月中旬, 且数量激增, 其暴发与棉花花期高度吻合, 印证了王淳等 (2025) 关于“蓟马在花器官内聚集取食”的论断。蚜虫和蓟马在 7-8 月份大量发生, 与 Simpson 优势度指数联合分析发现二者有可能为此阶段的优势种。

本研究中主要害虫与天敌的相关性分析发现, 2022-2023 年蓟马与 4 种天敌均具有较高相关性, 而 2023 年蚜虫类和瓢虫类之间出现负相关的异常现象; 2025 年以蜘蛛为代表的广谱捕

食者则与多种害虫具有较强正相关。上述关联变化可能源于多物种或共享环境因子(如温度、作物类型等)的同步响应(侯艳红等, 2018), 也可能因异常环境扰动(如极端气候)、关键资源限制或强烈的人为干预引发竞争排斥或生态位分化(Han *et al.*, 2014)。因此, 在农田生态管理中, 维护天敌的功能多样性比单纯依赖单一优势天敌更为关键, 有助于增强整个节肢动物种群在面对不可预测扰动时的结构弹性与功能稳定性(潘叶等, 2025)。未来生态管理应当实施时序精准调控, 针对不同生育期的优势害虫类群实施差异化策略, 通过调控害虫总量或提升其多样性以降低集中为害, 同时通过维持天敌丰富度与个体数量或提高寄生性天敌的能流多样性以增强控害效能, 从而系统提升生态功能, 实现生态调控目标(刘冰和陆宴辉, 2022)。

综上, 本研究基于 2022-2025 年对新疆库尔勒棉区棉田冠层上部节肢动物群落的系统监测, 揭示了该生态系统结构的动态变化及主要害虫与天敌之间的互作关系。节肢动物群落数量整体呈上升趋势, 仅 2025 年出现多样性下降与优势度上升的异常现象。同时, 本研究为构建基于生态系统的棉田害虫综合治理策略提供了科学依据, 对促进农业可持续发展具有重要实践意义。

参考文献 (References)

- Abarca M, Spahn R, 2021. Direct and indirect effects of altered temperature regimes and phenological mismatches on insect populations. *Current Opinion in Insect Science*, 47: 67–74.
- Chen XL, Zhang JG, 2016. Analysis of farmers' income and countermeasures in Korla, Xinjiang after the pilot reform of cotton target price. *China Cotton*, 43(1): 43–44. [陈绪兰, 张娇阁, 2016. 棉花目标价格改革试点后新疆库尔勒棉农收益分析及对策. *中国棉花*, 43(1): 43–44.]
- Deng XX, Qiao JL, Jiang HL, Li P, Chen XM, 2019. Current situation and development strategies of cotton industry in Korla City. *Agriculture and Technology*, 39(20): 171–172. [邓小霞, 乔金玲, 江海澜, 李萍, 陈小梅, 2019. 库尔勒市棉花产业现状及发展对策. *农业与技术*, 39(20): 171–172.]
- Duan MC, Qin RX, Zhang HB, Chen BX, Jin B, Zhang SB, Ren SP, Jin SQ, Zhu SH, Hua JN, Liu YH, Yu ZR, 2021. Comprehensive comparison of different sampling methods for farmland arthropods. *Biodiversity Science*, 29(4): 477–487. [段美春, 覃如霞, 张宏斌, 陈宝雄, 金彬, 张松泊, 任少鹏, 金树权, 朱升海, 华家宁, 刘云慧, 宇振荣, 2021. 农田节肢动物不同取样方法的综合比较. *生物多样性*, 29(4): 477–487.]
- Fan CH, Zhu XZ, Luo JY, Gao XK, Wang D, Chen LL, Patima-Wumerhan, Cui JJ, 2025. Population dynamics of aphids and their parasitoids in cotton and maize fields in Anyang, Henan Province. *China Cotton*, 52(3): 19–23. [樊承汉, 朱香镇, 雒珺瑜, 高雪珂, 王冬, 陈亮亮, 帕提玛·乌木尔汗, 崔金杰, 2025. 河南省安阳市棉田和玉米田蚜虫及其寄生性天敌种群发生动态. *中国棉花*, 52(3): 19–23.]
- Fassotte C, Delécolle JC, Cors R, Defrance T, De Deken R, Haubruge E, Losson B, 2008. Culicoides trapping with Rothamsted suction traps before and during the bluetongue epidemic of 2006 in Belgium. *Preventive Veterinary Medicine*, 87(1/2): 74–83.
- Han P, Niu CY, Desneux N, 2014. Identification of top-down forces regulating cotton aphid population growth in transgenic Bt cotton in Central China. *PLoS ONE*, 9(8): e102980.
- He ZC, 1997. Color Illustrated Guide to Agricultural Pests in Northern China. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press. 38–346. [何振昌, 1997. 中国北方农业害虫原色图鉴. 沈阳: 辽宁科学技术出版社. 38–346.]
- Han Y, Dai PP, Li X, Song X, Li J, Liu YH, 2015. Impact of organic agriculture on summer farmland arthropod diversity in the North China Plain. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 31(5): 697–703. [韩印, 戴飘飘, 李想, 宋潇, 李季, 刘云慧, 2015. 华北平原有机农业对夏季农田节肢动物多样性的影响. *生态与农村环境学报*, 31(5): 697–703.]
- Hou YH, Fan ZY, Chen Q, Li T, Shen HL, Liu D, Chen L, Shi XK, Li SM, 2018. Preliminary study on monitoring aphids and their natural enemies with suction traps. *China Plant Protection*, 38(10): 43–48. [侯艳红, 范志业, 陈琦, 李彤, 沈海龙, 刘迪, 陈莉, 师兴凯, 李世民, 2018. 吸虫塔监测蚜虫及其天敌的初步研究. *中国植保导刊*, 38(10): 43–48.]
- Hu DW, Zhang S, Luo JY, Wang CY, Lü LM, Zhang LJ, Cui JJ, 2018. Occurrence dynamics of cotton aphids and their main natural enemies on different crops. *Chinese Journal of Biological Control*, 34(2): 310–316. [胡道武, 张帅, 雒珺瑜, 王春义, 吕丽敏, 张利娟, 崔金杰, 2018. 不同作物上棉蚜及其主要天敌的发生规律. *中国生物防治学报*, 34(2): 310–316.]
- Hu HY, Huang RX, 2012. Xinjiang Insect Color Illustration Guide. Beijing: Science Press. 39–281. [胡红英, 黄人鑫, 2012. 新疆昆虫原色图鉴. 北京: 科学出版社. 39–281.]
- Jia MY, Hu DQ, Song BM, Wang DM, Lu W, Pan HS, 2025. Study on the current status of transgenic Bt cotton cultivation in the Xinjiang cotton region. *China Plant Protection*, 45(12): 14–19. [贾孟瑶, 胡得琴, 宋冰梅, 王冬梅, 路伟, 潘洪生, 2025. 新疆棉区转 Bt 基因抗虫棉花种植现状研究. *中国植保导刊*,

- 45(12): 14–19.]
- Jiang JW, Qiao HB, An SH, 2014. Field Guide to Common Insects in Farmland. Beijing: China Agriculture Press. 24–242. [蒋金炜, 乔红波, 安世恒, 2014. 农田常见昆虫图鉴. 北京: 中国农业出版社. 24–242.]
- Jiang YL, Wu YQ, Duan Y, Miao J, Gong ZJ, Qiao GX, 2011. Insect species captured by suction traps and their effectiveness in monitoring wheat aphids. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(6): 1708–1714. [蒋月丽, 武予清, 段云, 苗进, 巩中军, 乔格侠, 2011. 吸虫塔诱捕的昆虫种类及对麦蚜的监测效果研究. *应用昆虫学报*, 48(6): 1708–1714.]
- Jiang YL, Wu YQ, Qiao GX, Duan Y, Miao J, 2012. Study on arthropod community structure and temporal dynamics in the upper canopy space of wheat fields using suction traps. *Chinese Journal of Ecology*, 31(9): 2378–2384. [蒋月丽, 武予清, 乔格侠, 段云, 苗进, 2012. 应用吸虫塔对麦田冠层上部空间节肢动物群落结构及时序动态的研究. *生态学杂志*, 31(9): 2378–2384.]
- Jiang YP, Xiao LB, Zhao J, Tan YA, Qiu C, 2020. Effects of cultivation patterns and nitrogen application rate on arthropod community structure and stability in cotton fields. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 57(12): 2280–2290. [姜义平, 肖留斌, 赵静, 谭永安, 邱晨, 2020. 栽培模式与施氮量对棉田节肢动物群落结构及稳定性的影响. *新疆农业科学*, 57(12): 2280–2290.]
- Jiang YY, Liu J, Zeng J, Lu YH, Lu Y, Xu HX, Liu D, Gao YJ, 2017. Study on light trap effect of mirids and other insects in cotton fields of Xinjiang cotton region. *China Plant Protection*, 37(4): 49, 50–55. [姜玉英, 刘杰, 曾娟, 陆宴辉, 芦屹, 徐好学, 刘鼎, 高永健, 2017. 新疆棉区盲蝽等棉田昆虫灯诱效果研究. *中国植保导刊*, 37(4): 49, 50–55.]
- Li HQ, Wang DM, Liu J, 2022. Effects of walnut-cotton intercropping on arthropod community structure and natural enemy populations in cotton fields. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 59(4): 934–941. [李海强, 王冬梅, 刘建, 2022. 核棉间作对棉田节肢动物群落结构及自然天敌种群发生的影响. *新疆农业科学*, 59(4): 934–941.]
- Li JH, Wu YK, Zhang Q, Li HQ, Pan HS, Lu W, Wang DM, Zhang JP, Lu YH, 2018. Aphid parasitism and parasitoid diversity in cotton fields in Xinjiang, China. *PLoS ONE*, 13(11): e0207034.
- Li JN, Zhang QY, Zhao YH, Tang YZ, Zhu XM, Liu YH, 2025. Diversity of ground-dwelling arthropods in different ecological land-use types of an eco-farm and their responses to vegetation diversity. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 33(9): 1782–1793. [李佳宁, 张启宇, 赵永浩, 汤耀中, 朱秀妹, 刘云慧, 2025. 生态农场不同生态用地地节肢动物多样性及其对植被多样性的响应. *中国生态农业学报*, 33(9): 1782–1793.]
- Li QR, 2022. Study on oat aphid species and population dynamics in eastern Qinghai. *Qinghai Agriculture and Forestry Science and Technology*, 2022(3): 32–37, 41. [李秋荣, 2022. 青海东部地区燕麦蚜虫种类及种群消长动态研究. *青海农林科技*, 2022(3): 32–37, 41.]
- Li SY, Zhu JB, Lu XY, Cheng FR, Zheng SF, Cui JJ, Luo JY, Ma Y, 2018. Insect community diversity and its temporal dynamics in transgenic RRM2 cotton fields. *Biodiversity Science*, 26(11): 1190–1203. [李淑英, 朱加保, 路献勇, 程福如, 郑曙峰, 崔金杰, 雒珺瑜, 马艳, 2018. 转 RRM2 基因棉田昆虫群落多样性及其时序动态. *生物多样性*, 26(11): 1190–1203.]
- Liu B, Lu YH, 2022. Structure of farmland arthropod food webs and pest control function by natural enemies. *Journal of Plant Protection*, 49(1): 97–109. [刘冰, 陆宴辉, 2022. 农田节肢动物食物网结构与天敌控害功能. *植物保护学报*, 49(1): 97–109.]
- Liu XD, 2013. Sampling and surveying techniques for insects in the field. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(3): 863–867. [刘向东, 2013. 田间昆虫的取样调查技术. *应用昆虫学报*, 50(3): 863–867.]
- Lu N, Zhang TT, Bao YJ, Lu XJ, Guo W, Zhao D, 2022. Analysis of insect species and dominant species dynamics in peanut fields of the Huang-Huai-Hai region based on yellow sticky trap catches. *Plant Protection*, 48(3): 305–311, 328. [路娜, 张婷婷, 包亚君, 陆秀君, 郭巍, 赵丹, 2022. 基于黄板诱集的黄淮海产区花生田昆虫种类及优势种动态分析. *植物保护*, 48(3): 305–311, 328.]
- Lü WY, Qin XF, Xu YL, Shen ZX, 2009. Insect community structure in different types of cotton fields. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 17(2): 330–334. [吕文彦, 秦雪峰, 徐艳聆, 沈宗霞, 2009. 不同类型棉田昆虫群落结构研究. *中国生态农业学报*, 17(2): 330–334.]
- Lu YH, 2021. Research on cotton pest management in China: Progress with the times. *Journal of Plant Protection*, 48(5): 937–939. [陆宴辉, 2021. 与时俱进的中国棉花害虫治理研究. *植物保护学报*, 48(5): 937–939.]
- Lu YH, Liang GM, 2016. Research progress on pest succession in Bt crop systems. *Plant Protection*, 42(1): 7–11. [陆宴辉, 梁革梅, 2016. Bt 作物系统害虫发生演替研究进展. *植物保护*, 42(1): 7–11.]
- Lu YH, 2024. An Illustrated Guide to Cotton Pests in China. Beijing: China Agriculture Press. 113–319. [陆宴辉, 2024. 中国棉花有害生物图鉴. 北京: 中国农业出版社. 113–319.]
- Luo JY, Zhang S, Lü LM, Wang CY, Zhu XZ, Li CH, Cui JJ, 2016. Dynamic changes in arthropod community diversity in Bt cotton fields from 2009 to 2013. *Acta Ecologica Sinica*, 36(13): 4195–4203. [雒珺瑜, 张帅, 吕丽敏, 王春义, 朱香镇, 李春花, 崔金杰, 2016. 2009–2013 年 Bt 棉田节肢动物群落多样性动态变

- 化. 生态学报, 36(13): 4195–4203.]
- Luo JY, Zhang S, Zhang KX, Ji JC, Zhu XZ, Wang CY, Zhang LJ, Wang L, Li CH, Cui JJ, 2018. Effects of different survey methods on arthropod community composition and biodiversity in transgenic cotton fields. *Journal of Biosafety*, 27(2): 139–144. [雒珺瑜, 张帅, 张开心, 姬继超, 朱香镇, 王春义, 张利娟, 王丽, 李春花, 崔金杰, 2018. 不同调查方法对转基因棉田节肢动物群落构成及生物多样性的影响. 生物安全学报, 27(2): 139–144.]
- Ma JQ, Zhu XY, Gao JL, Chen C, Liu WC, Cao H, Chen JL, 2025. Analysis of dynamic patterns and influencing factors of cotton production in Xinjiang from 1990 to 2020. *Research of Agricultural Modernization*, 46(5): 864–876. [马佳琦, 朱欣怡, 高金龙, 陈诚, 刘玮辰, 曹辉, 陈江龙, 2025. 1990–2020 年新疆棉花生产格局动态及影响因素分析. 农业现代化研究, 46(5): 864–876.]
- Ma KP, 1994. Measurement of biological community diversity I α -diversity measurement methods (part 1). *Biodiversity*, 2(3): 162–168. [马克平, 1994. 生物群落多样性的测度方法 I α 多样性的测度方法(上). 生物多样性, 2(3): 162–168.]
- Ma KP, Liu YM, 1994. Measurement of biological community diversity I α -diversity measurement methods (part 2). *Biodiversity*, 2(4): 231–239. [马克平, 刘玉明, 1994. 生物群落多样性的测度方法 I α 多样性的测度方法(下). 生物多样性, 2(4): 231–239.]
- Meng QH, Chen HB, 1986. Classification System and Keys to Chinese Mosquitoes. Beijing: Science Press. 33–118. [孟庆华, 陈汉彬, 1986. 中国蚊虫分类系统和检索表. 北京: 科学出版社. 33–118.]
- Miao L, Zheng JF, Cheng QQ, Jia ZL, Wang HT, Liang HB, Zhang H, Li X, Zhang JH, Jiang LY, Qin QL, Qiao GX, 2011. Construction of an aphid monitoring and early warning network based on suction traps. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(6): 1874–1878. [苗麟, 郑建峰, 程清泉, 贾占录, 王红托, 梁红斌, 张寰, 李瑄, 张继红, 姜立云, 秦启联, 乔格侠, 2011. 基于吸虫塔的蚜虫测报预警网络的构建. 应用昆虫学报, 48(6): 1874–1878.]
- National Bureau of Statistics of China, 2025. Bulletin of the National Bureau of Statistics on cotton output in 2025. https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202512/t20251226_1962156.html. [国家统计局, 2025. 国家统计局关于 2025 年棉花产量的公告. https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202512/t20251226_1962156.html.]
- Pan Y, Zhang DW, He XL, Fu XW, Lu YH, 2025. Spatiotemporal dynamics of aphid and predatory ladybird populations in alfalfa fields in the Hexi Region. *Chinese Journal of Biological Control*, 41(2): 284–290. [潘艺, 张大为, 何晓灵, 付晓伟, 陆宴辉, 2025. 河西地区苜蓿田蚜虫与捕食性瓢虫的种群时空动态. 中国生物防治学报, 41(2): 284–290.]
- Pan YY, Sun W, Gao Y, Su QF, Zhang XH, Zhou JC, Shi FM, Zhao HW, Ma HL, Gao YB, 2023. Monitoring the community structure and diversity of migratory winged aphids in Jilin Province using suction traps. *Plant Protection*, 49(4): 29–40. [潘艺元, 孙崑, 高悦, 苏前富, 张秀华, 周佳春, 时丰敏, 赵洪文, 马洪亮, 高月波, 2023. 利用吸虫塔监测吉林省迁飞性有翅蚜群落结构及多样性. 植物保护, 49(4): 29–40.]
- Shao TY, Wang KQ, Liu XL, Liu SZ, Zhu CD, 2015. Current status and prospect of using suction trap to study insect biodiversity. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2015(12): 170–173. [邵天玉, 王克勤, 刘兴龙, 刘思竹, 朱朝东, 2015. 利用吸虫塔研究昆虫生物多样性的现状与展望. 黑龙江农业科学, 2015(12): 170–173.]
- Wang C, Liu B, Lu W, Lu YH, 2025. Niche and interspecific association of major pests and their predatory natural enemies in Xinjiang cotton fields. *Plant Protection*, 51(2): 52–60. [王淳, 刘冰, 路伟, 陆宴辉, 2025. 新疆棉田主要害虫及其捕食性天敌的生态位与种间联结性研究. 植物保护, 51(2): 52–60.]
- Wang DY, Yu JN, 2010. Illustrated Handbook of Agricultural Insects in Xinjiang. Beijing: China Agriculture Press. 14–206. [王登元, 于江南, 2010. 新疆农业昆虫图志. 北京: 中国农业出版社. 14–206.]
- Wang FL, Chen H, Ding SF, Bian KY, 2013. Experiment on monitoring tools for pests and natural enemy insect populations in Bt cotton fields. *Shanghai Vegetables*, 2013(6): 58, 70. [王凤良, 陈华, 丁世峰, 卞康亚, 2013. Bt 棉田害虫与天敌昆虫种群监测工具试验. 上海蔬菜, 2013(6): 58, 70.]
- Xu L, Zhong T, Zhao TH, Xu GQ, 2016. Population dynamics of soybean aphid monitored by suction trap and its relationship with meteorological factors in Shenyang area. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(2): 365–372. [徐蕾, 钟涛, 赵彤华, 许国庆, 2016. 沈阳地区吸虫塔监测大豆蚜迁飞动态及其与气象因子关系的分析. 应用昆虫学报, 53(2): 365–372.]
- Yang F, Wu YK, Xu L, Wang Q, Yao ZW, Žikić V, Tomanović Ž, Ferrer-Suay M, Selfa J, Pujade-Villar J, Lu YH, Guo YY, 2017. Species composition and richness of aphid parasitoid wasps in cotton fields in northern China. *Scientific Reports*, 7(1): 9799.
- Zeng J, Lu YH, Jian GL, Li XJ, Liu J, Jiang YY, 2017. Investigation, Diagnosis and Decision Support System for Cotton Diseases, Pests and Weeds. Beijing: China Agriculture Press. 46–95. [曾娟, 陆宴辉, 简桂良, 李香菊, 刘杰, 姜玉英, 2017. 棉花病虫害调查诊断与决策支持系统. 北京: 中国农业出版社. 46–95.]
- Zhang Q, Gao YB, Zhang W, Li QY, Xie ZH, Miao L, Qiao GX, 2013. Daily rhythm of insect communities in suction traps. *Journal of Jilin Agricultural University*, 35(6): 646–650. [张强, 高月波, 张伟, 李启云, 谢昭辉, 苗麟, 乔格侠, 2013. 吸虫塔内昆虫群落日节律研究. 吉林农业大学学报, 35(6): 646–650.]