

宁夏苜蓿草田主要害虫与天敌昆虫发生动态和相关性 及其对气候因子的响应



苗 森^{1,2} 徐洋帆³ 张海翔¹ 王 颖² 张 蓉² 魏淑花^{2*} 班丽萍^{1*}

(1. 中国农业大学草业科学与技术学院, 北京 100193; 2. 宁夏农林科学院植物保护研究所, 银川 750002;

3. 苏州市张家港环境监测站(苏州市张家港环境监控中心), 江苏 苏州 215600)

摘要: 为探究苜蓿草田主要害虫与天敌昆虫间的关系, 对宁夏回族自治区种植结构和田间管理不同的2处苜蓿草田内主要害虫以及天敌昆虫的发生动态进行调查, 对天敌昆虫进行群落组成和多样性分析, 并对主要害虫与天敌昆虫优势种及其与气候因子的相关性进行分析。结果显示: 园林场苜蓿草田在2022年6月中旬和7月下旬害虫百枝条虫口数量达到峰值; 茂盛苜蓿草田在8月11日害虫百枝条虫口数量达到峰值。园林场苜蓿草田共采集到捕食性天敌9种679头, 寄生蜂38种284头; 茂盛苜蓿草田共采集到捕食性天敌8种540头, 寄生蜂33种122头。园林场苜蓿草田天敌昆虫的Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数和Margalef丰富度指数均在6月最高; 茂盛苜蓿草田天敌昆虫的Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数和Pielou均匀度指数均在6月最低, Margalef丰富度指数在9月最高。在园林场苜蓿草田中豌豆蚜 *Acyrthosiphon pisum* 与多异瓢虫 *Hippodamia variegata* 正相关, 在茂盛苜蓿草田中豌豆蚜与东亚小花蝽 *Orius sauteri* 和龟纹瓢虫 *Propylea japonica* 显著正相关。园林场苜蓿草田捕食性天敌优势种+常见种的数量与温度显著正相关, 豌豆蚜数量与最低湿度显著负相关; 茂盛苜蓿草田薊马的数量与平均温度、最低温度显著正相关, 苜蓿斑蚜 *Therioaphis trifolii* 的发生数量与最高湿度显著负相关。

关键词: 苜蓿草田; 害虫; 天敌昆虫; 昆虫多样性; 气候因子; 相关性

Dynamic and correlation of major pests with natural enemies and response to climatic factors in alfalfa fields in Ningxia

Miao Miao^{1,2} Xu Yangfan³ Zhang Haixiang¹ Wang Ying² Zhang Rong² Wei Shuhua^{2*} Ban Liping^{1*}

(1. College of Grassland Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Institute of Plant Protection, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, Ningxia Hui Autonomous Region, China; 3. Suzhou Zhangjiagang Environmental Monitoring Station (Suzhou Zhangjiagang Environmental Monitoring Center), Suzhou 215600, Jiangsu Province, China)

Abstract: In order to investigate the relationship between major pests and natural enemies in alfalfa fields, two alfalfa fields with different field treatments in Ningxia were selected as the study sites. Field surveys were carried out by using the 100-branch method, the swept-net method and the yellow disk method to gather data on pest populations, predatory natural enemies, and parasitic wasps. The α -diversity indices of natural enemies were calculated, and correlation analyses of the pests, natural enemies and climatic factors were performed. The results showed that the 100-branch pest population density peaked in mid-June and late July 2022 in the Yuanlinchang area, while the highest total pest population

基金项目: 宁夏农业高质量发展和生态保护科技创新示范课题(NGSB-2021-15-04), 国家自然科学基金(31971759), 国家牧草产业技术体系(CARS-34), 北京市现代农业产业技术体系(BAIC02-2024), 宁夏自然科学基金(2022AAC03436)

* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: liping_ban@163.com, weishuhua666@163.com

收稿日期: 2024-06-08

was observed on August 11 in the Maosheng area. A total of 679 predatory natural enemies from nine species and 284 parasitic wasps of 38 species were collected in Yuanlinchang; 540 predatory natural enemies from eight species and 122 parasitic wasps from 33 species were collected in Maosheng. The Shannon-Wiener diversity index, Simpson dominance index and Margalef richness index of natural enemies were all highest in June, significantly higher than in April-May and July in Yuanlinchang. Conversely, in Maosheng, the Shannon-Wiener diversity index, Simpson dominance index and Pielou evenness index of natural enemies were all lowest in June. Margalef richness index was highest in September. Pea aphid *Acyrtosiphon pisum* was significantly positively correlated with *Hippodamia variegata* in Yuanlinchang, while *A. pisum* was significantly positively correlated with *Orius sauteri*, and *Proplea japonica* in Maosheng. Additionally, the number of dominant+common predatory natural enemies was significantly positively correlated with air temperature, while the number of pea aphids was significantly negatively correlated with the lowest air humidity in the Yuanlinchang area. The number of thrips was significantly positively correlated with the average and lowest air temperatures in the Maosheng area, and the number of alfalfa spotted aphids *Theroaphis trifolii* was significantly negatively correlated with the highest humidity.

Key words: alfalfa field; pest; natural enemy; insect diversity; climatic factor; correlation

苜蓿 *Medicago sativa* 是一种富含蛋白质的多年生豆科牧草,被誉为“牧草之王”,具有广泛的生态适应性和较高的经济效益,与玉米并称为世界两大饲料来源(Kavdir et al., 2005; 杨培志, 2012)。在国家实施粮改饲政策并大力发展畜牧业的背景下,宁夏回族自治区(简称宁夏)作为国内苜蓿主产区之一,苜蓿等饲草面积持续扩大,2021年宁夏苜蓿种植面积达 63.4 万 hm²(张思奇, 2022)。苜蓿病虫害是影响苜蓿产量和品质的重要因素(史敏等, 2019),目前我国已报道的苜蓿害虫共计 297 种,分属于 8 目 48 科(张奔等, 2016)。为害苜蓿的主要害虫类群有蚜虫和蓟马等(陈婧等, 2022; 萨如拉, 2023),这 2 类昆虫体型小,繁殖快,不仅通过取食直接为害苜蓿,而且通过传播苜蓿花叶病毒(alfalfa mosaic virus, AMV)等间接为害苜蓿(Li et al., 2022; 潘明真等, 2022)。为害苜蓿的蚜虫主要以豌豆蚜 *Acyrtosiphon pisum* 和苜蓿斑蚜 *Theroaphis trifolii* 为主,取食后苜蓿植株出现萎蔫、矮缩和霉污等症状,严重影响苜蓿的产量和品质。苜蓿斑蚜大发生时对我国苜蓿商品草产业造成的潜在经济损失可达 1.51 亿~11.27 亿美元(吴志刚等, 2013)。为害苜蓿的蓟马种类主要有牛角花齿蓟马 *Odontothrips loti* 和普通大蓟马 *Megalurothrips usitatus* 等。蓟马利用其独特的锉吸式口器锉破苜蓿不同部位的植物表皮,取食后苜蓿叶片卷曲皱缩,生长点发黄,凋萎,不能继续生长,甚至出现落花和落荚等症状;严重时叶片未展开就已经干枯(李楠等, 2019)。据报道,在生长期內苜蓿被蓟马

为害的概率可达 70%~100%,在宁夏苜蓿种植区蓟马为害的概率可达 100%(吴永敷等, 1990; 张蓉等, 2003a)。因此,需要对苜蓿草田的蚜虫和蓟马进行防控。

目前普遍使用化学手段防治害虫,然而化学杀虫剂的连续或不当使用导致蚜虫产生抗药性,且污染环境,不仅无法达到预期的防治效果,还可能会引起蚜虫的再次大发生(石丹丹等, 2023)。天敌昆虫作为自然生态系统中的组成部分,在调控农业害虫种群方面具有重要的作用(吴圣勇等, 2016)。宁夏的天敌昆虫资源非常丰富,共有 16 种,其中优势种天敌为瓢虫、草蛉、捕食蝽和蜘蛛,其对蚜虫和蓟马等害虫均有显著的控制作用(张蓉等, 2003b),可考虑利用天敌昆虫防控蚜虫和蓟马。但昆虫群落与田间环境、耕作制度、用药情况和气候等因素密切相关(尤民生等, 2004; 彭雪凡等, 2024)。温度、降水等气候因子直接影响植食性昆虫的生长发育,如温度升高常常会加速害虫的发育速度,增加害虫的世代数,从而提高种群的成活率,进而引起虫害大面积暴发(董兆克和戈峰, 2011); 鳞翅目枯叶蛾科松毛虫属 *Dendrolimus* 昆虫的平均发生率与最暖季降水量呈显著正相关(李晨阳和蒙凤群, 2023)。此外,温度等气候因子同样影响天敌昆虫的生长发育,如在 18~32 °C 范围内天敌昆虫益蝽 *Picromerus lewisi* 由卵到成虫的发育历期随着温度升高而降低(唐艺婷等, 2023)。因此,深入研究天敌昆虫和害虫与气候因子的关系对于利用天敌昆虫进行害虫防治具有重要

意义。

为深入探究苜蓿草田中优势天敌昆虫与主要害虫蚜虫和蓟马的相互关系,对宁夏种植结构和田间管理不同的2处苜蓿草田内主要害虫以及天敌昆虫的发生动态进行调查,对天敌昆虫进行群落组成和多样性分析,并对主要害虫与天敌昆虫优势种及其与气候因子的相关性进行分析,以期为科学防控苜蓿害虫提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

气象数据:气象数据来源于宁夏气象局,选择临近种植结构和田间管理不同的2处试验区的国家基准气候站、基本气象站、一般气象站或区域气象观测的气象数据,包括平均温度、最高温度、最低温度、平均降水量、最高降水量、最低降水量、平均湿度、最高湿度和最低湿度。

药剂:5%高效氯氟氰菊酯(lambda-cyhalothrin)微乳剂、15%哒螨灵(pyridaben)乳油,河北中保绿农作物科技有限公司;5%吡虫啉(imidacloprid)乳油,天津市汉邦植物保护剂有限责任公司。

仪器:3WBD-16A农药喷雾器,北京中保绿农业科技集团有限公司;口径40 cm、深70 cm的CS-35250捕虫网,浙江连球工贸有限公司。

1.2 方法

1.2.1 苜蓿草田主要害虫及其天敌昆虫的调查

本试验共设置2处试验区。第1处试验区位于宁夏银川市西夏区军马场宁夏农垦茂盛草业有限公司的苜蓿试验基地($38^{\circ}33'09''N, 106^{\circ}03'38''E$),面积1 120 m²,种植巨人407、WL319HQ、WL363HQ、WL354HQ、54V09、55V12、55V48、巨能耐盐、巨能70、4020MF、SR4030、BR4010、皇冠和SK3010共14种引进的优良苜蓿品种,在第2茬和第3茬苜蓿长至15 cm左右时,同时喷施5%高效氯氟氰菊酯微乳剂、5%吡虫啉乳油和15%哒螨灵乳油,施药量分别为225、1 200和900 mL/hm²;割茬4次,时间分别为2022年5月25日、6月29日、7月28日和8月25日。第2处试验区位于宁夏银川市西夏区卢华台园林场内的农业部病虫害银川试验站苜蓿地($38^{\circ}39'01''N, 106^{\circ}08'56''E$),面积1 360 m²,仅种植WL363HQ苜蓿品种,全年无防治措施;割茬3次,时间分别为2022年5月8日、7月6日和8月25日。

于2022年4月27日至9月22日,按棋盘法将每处试验区划分为5个边长为1 m的小区,分别采用

百枝条法、扫网法和黄盘法调查主要蚜虫和蓟马类害虫、捕食性天敌和寄生性天敌的种类和数量,调查当日先将黄盘放好,再进行百枝条法和扫网法调查,4 h后收集黄盘中的昆虫,每7 d调查1次。百枝条法:每个小区随机取5个点,每点取20条苜蓿枝条,将蓟马和蚜虫拍打在长30 cm、宽40 cm的白瓷盘中,带回实验室进行鉴定。扫网法:每个小区用捕虫网连续扫15复网,装入网袋,带回实验室进行鉴定。黄盘法:每个小区周围放5个口径20 cm、底径12 cm、高4 cm的黄盘,各黄盘间隔约2 m;黄盘内倒入1/2~2/3的洗洁精稀溶液(洗洁精和纯净水体积比为1:20),静置4 h以上;用孔径0.075 mm纱网将每个小区5个盘子中收集的寄生蜂过滤,收集后用无水乙醇浸泡保存,带回实验室进行鉴定。参考《中国农作物病虫害》(中国农业科学院植物保护研究所,1996)对蚜虫和蓟马类害虫进行物种鉴定,参考《宁夏草原昆虫原色图鉴》(张蓉等,2014)、《中国瓢虫原色图鉴》(任顺祥等,2009)和《宁夏贺兰山昆虫》(王新谱和杨贵军,2010)等资料对收集的天敌昆虫进行鉴定,并统计每个试验区的数量。根据物种个体数占个体总数的比例进行种类划分。当0<物种个体数/个体总数<1%时,为稀有种;当1%≤物种个体数/个体总数<10%时,为常见种;当物种个体数/个体总数≥10%,则为优势种(马志宁等,2022)。

1.2.2 苜蓿草田天敌昆虫的多样性分析

采用Margalef丰富度指数、Pielou均匀度指数、Shannon-Wiener多样性指数和Simpson优势度指数对苜蓿草田中天敌昆虫的多样性进行分析。Margalef丰富度指数=($S-1$)/ln N ;Pielou均匀度指数=H/ln S ;Shannon-Wiener多样性指数 $H=-\sum_{i=1}^SP_i \ln P_i$;Simpson优势度指数= $\sum_{i=1}^S \frac{N(N_i-1)}{N(N-1)}$,式中, S 为物种数; N 为所有物种的个体数之和; N_i 为第*i*个物种个体数之和; P_i 为第*i*个物种个体数占总个体数的比例。采用R 4.2.3软件计算天敌多样性指数;采用SPSS 20.0软件对害虫与天敌之间以及二者与气候因子之间进行Pearson相关性分析。

1.3 数据分析

采用SPSS 20.0软件对试验数据进行统计分析,2处试验区的同一指标之间采用t检验法进行差异显著性检验,同一试验区不同时间下同一指标采用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 宁夏苜蓿草田主要害虫及天敌昆虫的发生动态

2.1.1 园林场苜蓿草田主要害虫的发生动态

蚜虫和蓟马的虫口数量共出现2次高峰,分别是2022年6月15日和7月28日。第1次高峰时,虫口数量达1 416头/百枝条,其中豌豆蚜数量最高,为1 292头/百枝条,占当日调查害虫总数的90%以上。第2次高峰时,蚜虫和蓟马的虫口数量达3 304头/百枝条,其中蓟马虫口数量最高,为2 008头/百枝条,占当日调查害虫总数的60.8%;苜蓿斑蚜虫口数量次之,为741头/百枝条;豌豆蚜虫口数量最少,为555头/百枝条(图1-A)。在6月15日之前,为害苜蓿的蚜虫以豌豆蚜为主,随着气温升高,至7月底为害苜蓿的蚜虫主要为苜蓿斑蚜;7月中旬蓟马开始为害苜蓿,7月下旬出现高峰,9月蓟马为害较少(图1-A)。

2.1.2 茂盛苜蓿草田主要害虫的发生动态

2022年4月下旬到9月上旬,蓟马虫口数量始终处于较高水平,均高于200头/百枝条,最高达899头/百枝条,蚜虫以豌豆蚜为主,苜蓿斑蚜个体数量较少;8月11日害虫虫口总数达到峰值,为962头/百枝条,其中蓟马虫口数量占当日调查害虫总数的93.5%,而豌豆蚜和苜蓿斑蚜的虫口数量分别仅占调查害虫总数的6.4%和0.1%(图1-B)。

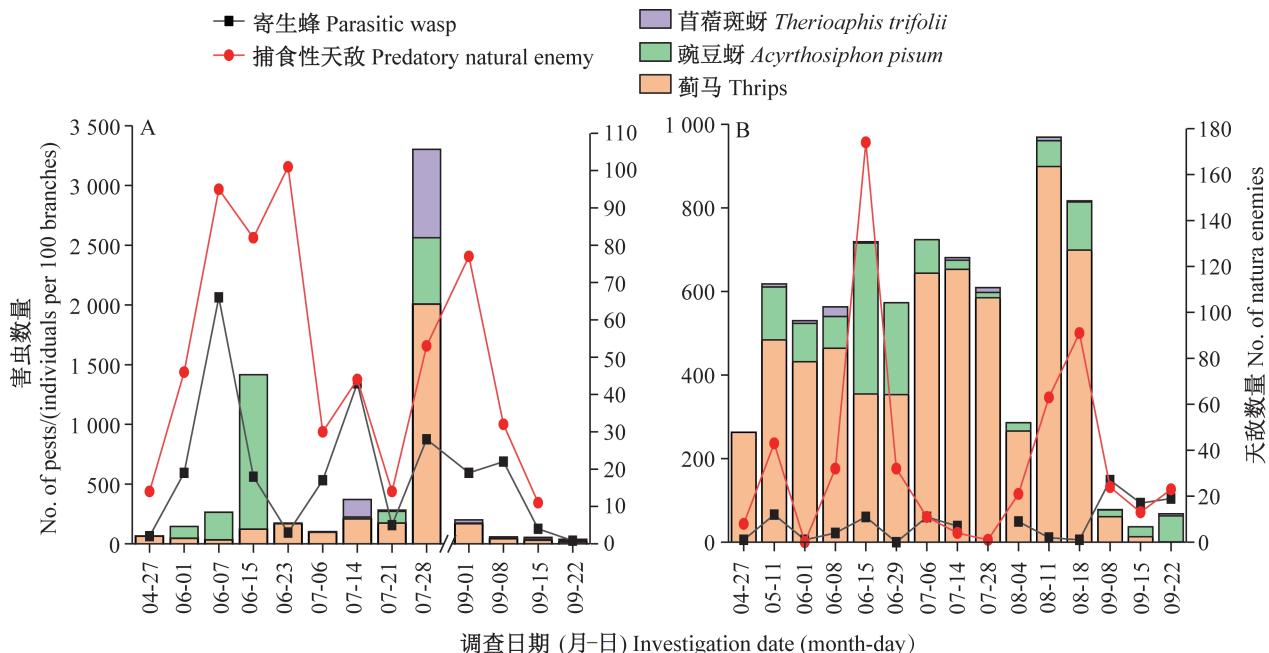


图1 宁夏园林场(A)和茂盛(B)苜蓿草田主要害虫和天敌昆虫的发生动态

Fig. 1 Dynamics of major pests and natural enemies in alfalfa fields in Yuanlinchang (A) and Maosheng (B), Ningxia

2.1.3 首蓿草田主要天敌昆虫的发生动态

园林场和茂盛苜蓿草田的天敌昆虫数量不同;园林场苜蓿草田中共诱捕到捕食性天敌679头,寄生蜂284头(图1-A);茂盛苜蓿草田共诱捕到捕食性天敌540头,寄生蜂122头(图1-B)。园林场和茂盛苜蓿草田的捕食性天敌数量均多于寄生蜂数量,且园林场苜蓿草田的寄生蜂数量多于茂盛苜蓿草田。

2.2 宁夏苜蓿草田天敌昆虫的群落组成

在园林场和茂盛苜蓿草田中,采用黄盘法共诱集到寄生蜂406头,采用扫网法共诱集到捕食性天敌1 219头,分别属于48种寄生蜂和9种捕食性天敌;其中,在园林场苜蓿草田诱集到38种寄生蜂和9种捕食性天敌,分别为284头和679头;在茂盛苜蓿草田诱集到33种寄生蜂和8种捕食性天敌,分别为122头和540头(表1~2)。

2.2.1 寄生蜂的群落组成

在园林场和茂盛苜蓿草田中,寄生蜂种群的优势种均为茧蜂科6,占比分别为59.15%和35.25%;2处苜蓿草田常见种共27种,其中共有常见种4种,分别为茧蜂科1、茧蜂科8、金小蜂科1和瘿蜂科1,园林场苜蓿草田特有常见种为茧蜂科5、姬小蜂科1和锤角细蜂科1等10种,茂盛苜蓿草田特有常见种为瘿蜂科3、瘿蜂科2和锤角细蜂科4等13种;此外,园林场和茂盛苜蓿草田中分别有23种和15种稀有种(表1)。

表1 宁夏园林场和茂盛苜蓿草田的寄生蜂种类及数量

Table 1 Species and numbers of parasitic wasps in alfalfa fields in Yuanlinchang and Maosheng, Ningxia

物种 Species	园林场 Yuanlinchang		茂盛 Maosheng		合计 Total
	个体数 No. of individuals	比例 Proportion/%	个体数 No. of individuals	比例 Proportion/%	
茧蜂科 6 Braconidae 6	168	59.15	43	35.25	211
茧蜂科 8 Braconidae 8	13	4.58	9	7.38	22
茧蜂科 1 Braconidae 1	14	4.93	6	4.92	20
茧蜂科 5 Braconidae 5	11	3.87	1	0.82	12
瘿蜂科 3 Cynipidae 3	1	0.35	7	5.74	8
瘿蜂科 1 Cynipidae 1	3	1.06	5	4.10	8
金小蜂科 1 Pteromalidae 1	4	1.41	3	2.46	7
瘿蜂科 2 Cynipidae 2	1	0.35	5	4.10	6
锤角细蜂科 1 Diapriidae 1	5	1.76	1	0.82	6
大恙细蜂科 1 Megaspilidae 1	5	1.76	1	0.82	6
姬小蜂科 1 Eulophidae 1	6	2.11	0	0.00	6
锤角细蜂科 4 Diapriidae 4	0	0.00	5	4.10	5
茧蜂科 9 Braconidae 9	2	0.70	3	2.46	5
分盾细蜂科 2 Ceraphronidae 2	4	1.41	1	0.82	5
茧蜂科 4 Braconidae 4	4	1.41	1	0.82	5
茧蜂科 7 Braconidae 7	4	1.41	1	0.82	5
姬蜂科 7 Ichneumonidae 7	5	1.76	0	0.00	5
姬小蜂科 4 Eulophidae 4	0	0.00	4	3.28	4
跳小蜂科 1 Encyrtidae 1	1	0.35	3	2.46	4
广腹细蜂科 1 Platygastidae 1	2	0.70	2	1.64	4
缘腹细蜂科 2 Scelionidae 2	2	0.70	2	1.64	4
姬小蜂科 2 Eulophidae 2	3	1.06	1	0.82	4
姬蜂科 1 Ichneumonidae 1	1	0.35	2	1.64	3
姬蜂科 2 Ichneumonidae 2	2	0.70	1	0.82	3
茧蜂科 3 Braconidae 3	2	0.70	1	0.82	3
缘腹细蜂科 3 Scelionidae 3	3	1.06	0	0.00	3
大恙细蜂科 3 Megaspilidae 3	0	0.00	2	1.64	2
姬蜂科 3 Ichneumonidae 3	0	0.00	2	1.64	2
茧蜂科 2 Braconidae 2	0	0.00	2	1.64	2
瘿蜂科 5 Cynipidae 5	0	0.00	2	1.64	2
姬蜂科 8 Ichneumonidae 8	1	0.35	1	0.82	2
缘腹细蜂科 4 Scelionidae 4	1	0.35	1	0.82	2
姬蜂科 4 Ichneumonidae 4	2	0.70	0	0.00	2
姬蜂科 5 Ichneumonidae 5	2	0.70	0	0.00	2
姬小蜂科 3 Eulophidae 3	2	0.70	0	0.00	2
瘿蜂科 4 Cynipidae 4	2	0.70	0	0.00	2
分盾细蜂科 1 Ceraphronidae 1	0	0.00	1	0.82	1
分盾细蜂科 3 Ceraphronidae 3	0	0.00	1	0.82	1
金小蜂科 2 Pteromalidae 2	0	0.00	1	0.82	1
缘腹细蜂科 1 Scelionidae 1	0	0.00	1	0.82	1
锤角细蜂科 2 Diapriidae 2	1	0.35	0	0.00	1
锤角细蜂科 3 Diapriidae 3	1	0.35	0	0.00	1
大恙细蜂科 2 Megaspilidae 2	1	0.35	0	0.00	1
广腹细蜂科 2 Platygastidae 2	1	0.35	0	0.00	1
姬蜂科 6 Ichneumonidae 6	1	0.35	0	0.00	1
茧蜂科 10 Braconidae 10	1	0.35	0	0.00	1
跳小蜂科 2 Encyrtidae 2	1	0.35	0	0.00	1
缘腹细蜂科 5 Scelionidae 5	1	0.35	0	0.00	1
合计 Total	284	100.00	122	100.00	406

2.2.2 捕食性天敌昆虫的群落组成

在园林场和茂盛苜蓿草田分别诱捕到9种和8种

捕食性天敌。在园林场苜蓿草田中, 捕食性天敌的优势种分别为南方小花蝽 *Orius similis*、多异瓢虫

Hippodamia variegata 和月斑鼓额蚜蝇 *Scaeva selenitica*, 分别占天敌昆虫种群的 40.06%、17.67% 和 14.73%; 常见种包括东亚小花蝽 *Orius sauteri*、龟纹瓢虫 *Propylea japonica*、黑点食蚜盲蝽 *Deraecoris punctulatus* 和林优蚜蝇 *Eupeodes silvaticus*; 稀有种为淡色姬蝽 *Nabis palifer* 和黄带优蚜蝇 *Eupeodes*

flavofasciatus。在茂盛苜蓿草田中, 捕食性天敌的优势种分别为东亚小花蝽、多异瓢虫、龟纹瓢虫和南方小花蝽, 分别占天敌昆虫种群的 29.63%、27.04%、23.15% 和 10.93%; 常见种为月斑鼓额蚜蝇、黑点食蚜盲蝽和淡色姬蝽; 稀有种为黄带优蚜蝇(表2)。

表2 宁夏园林场和茂盛苜蓿草田捕食性天敌昆虫的种类及数量

Table 2 Species and numbers of predatory natural enemies in alfalfa fields in Yuanlinchang and Maosheng, Ningxia

物种 Species	园林场 Yuanlinchang		茂盛 Maosheng		合计 Total
	个体数 No. of individuals	比例 Proportion/%	个体数 No. of individuals	比例 Proportion/%	
南方小花蝽 <i>Orius similis</i>	272	40.06	59	10.93	331
多异瓢虫 <i>Hippodamia variegata</i>	120	17.67	146	27.04	266
东亚小花蝽 <i>Orius sauteri</i>	43	6.33	160	29.63	203
龟纹瓢虫 <i>Propylea japonica</i>	63	9.28	125	23.15	188
月斑鼓额蚜蝇 <i>Scaeva selenitica</i>	100	14.73	28	5.19	128
黑点食蚜盲蝽 <i>Deraecoris punctulatus</i>	63	9.28	13	2.41	76
淡色姬蝽 <i>Nabis palifer</i>	6	0.88	7	1.30	13
林优蚜蝇 <i>Eupeodes silvaticus</i>	9	1.33	0	0.00	9
黄带优蚜蝇 <i>Eupeodes flavofasciatus</i>	3	0.44	2	0.37	5
合计 Total	679	100.00	540	100.00	1 219

2.3 宁夏苜蓿草田天敌昆虫的多样性特征

同一苜蓿草田中, 不同月份的天敌昆虫多样性特征均存在显著差异(表3)。在园林场苜蓿草田中, 天敌昆虫的 Shannon-Wiener 多样性指数和 Simpson 优势度指数随时间变化的趋势基本一致, 均在 6 月达到最高, 且显著高于 4—5 月和 7 月($P<0.05$); 天敌昆虫的 Margalef 丰富度指数在 7 月降到最低, 且显著低于 6 月和 9 月($P<0.05$); 天敌昆虫的

Pielou 均匀度指数在苜蓿生长期问内无显著差异(表3)。在茂盛苜蓿草田中, 天敌昆虫的 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数和 Pielou 均匀度指数均在 6 月最低, 且前者在 6 月显著低于 4—5 月和 9 月($P<0.05$), 后两者在 6 月显著低于其他月份($P<0.05$); 天敌昆虫的 Margalef 丰富度指数在 9 月达到最高, 且显著高于 6 月和 8 月($P<0.05$, 表3)。

表3 宁夏园林场和茂盛苜蓿草田天敌昆虫多样性指数特征

Table 3 Characteristics of diversity index of natural enemies in alfalfa fields in Yuanlinchang and Maosheng, Ningxia

多样性指数 Diversity index	地点 Site	4—5月 April—May	6月 June	7月 July	8月 August	9月 September
Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener diversity index	园林场 Yuanlinchang 茂盛 Maosheng	1.67±0.14 b 1.64±0.06 a	2.02±0.04 a 1.23±0.08 b*	1.65±0.05 b 1.42±0.14 ab	— 1.42±0.07 ab	1.88±0.03 ab 1.77±0.21 a
Simpson 优势度指数 Simpson dominance index	园林场 Yuanlinchang 茂盛 Maosheng	0.74±0.03 c 0.78±0.01 a	0.83±0.01 a 0.59±0.03 b*	0.76±0.02 bc 0.72±0.04 a	— 0.71±0.02 a	0.79±0.01 ab 0.73±0.06 a
Margalef 丰富度指数 Margalef richness index	园林场 Yuanlinchang 茂盛 Maosheng	2.43±0.36 ab 2.04±0.21 ab	2.61±0.10 a 1.43±0.12 b*	1.88±0.09 b 2.01±0.21 ab	— 1.50±0.19 b	2.56±0.18 a 2.69±0.37 a
Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index	园林场 Yuanlinchang 茂盛 Maosheng	0.80±0.02 a 0.93±0.02 a*	0.80±0.02 a 0.66±0.04 c*	0.79±0.03 a 0.93±0.03 a*	— 0.78±0.03 b	0.82±0.02 a 0.79±0.05 b

表中数据为平均数±标准差。同行不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验差异显著($P<0.05$)。*表示同时间园林场和茂盛相同指标经 t 检验法检验差异显著($P<0.05$)。Data are mean±SD. Different lowercase letters in the row indicate significant difference by Duncan's new multiple range test ($P<0.05$). * indicates significant difference in diversity index between Yuanlinchang and Maosheng for the same index by t test ($P<0.05$)。

在4—9月,园林场和茂盛苜蓿草田天敌昆虫的多项多样性指数之间存在显著差异($P<0.05$,表3)。园林场苜蓿草田天敌昆虫的Shannon-Wiener多样性指数、Simpson优势度指数和Margalef丰富度均在6月显著高于茂盛($P<0.05$),其他时间均与茂盛差异不显著;园林场苜蓿草田天敌昆虫的Pielou均匀度指数在6月显著高于茂盛,而在4—5月和7月均显著低于茂盛($P<0.05$),其他时间与茂盛差异不显著(表3)。

2.4 主要害虫与天敌昆虫优势种的相关性分析

在园林场和茂盛苜蓿草田中,豌豆蚜与瓢虫科优势种天敌昆虫显著正相关,其中在园林场苜蓿草田中豌豆蚜与多异瓢虫显著正相关($P<0.05$),在茂盛苜蓿草田中豌豆蚜与龟纹瓢虫显著正相关($P<$

0.05)。此外,在茂盛苜蓿草田中蓟马与茧蜂科6显著负相关,豌豆蚜与东亚小花蝽显著正相关($P<0.05$,图2)。

2.5 主要害虫及天敌昆虫与气候因子的相关性分析

湿度对苜蓿草田蚜虫有显著影响,其中在园林场苜蓿草田中豌豆蚜数量与最低湿度显著负相关($P<0.05$),在茂盛苜蓿草田中苜蓿斑蚜数量与最高湿度显著负相关($P<0.05$)。温度对蓟马的数量影响大,其中在茂盛苜蓿草田中蓟马数量与平均温度和最低温度均显著正相关($P<0.05$,图3)。只有捕食性天敌数量与温度因子有一定相关性,其中园林场苜蓿草地中捕食性天敌优势种+常见种的数量与平均温度、最高温度和最低温度均显著正相关($P<0.05$,图3)。

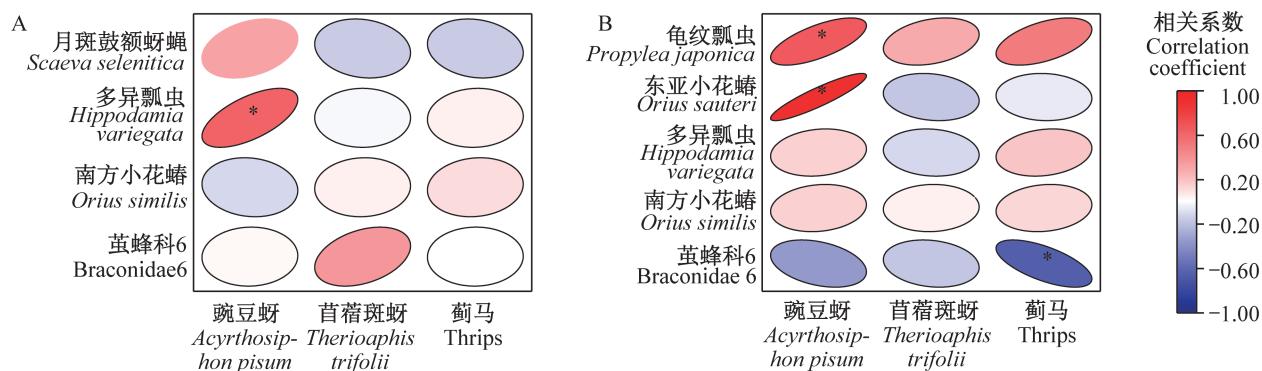


图2 宁夏园林场(A)和茂盛(B)苜蓿草田主要害虫与优势种天敌昆虫的互作关系

Fig. 2 Interaction between main pests and dominant natural enemies in alfalfa fields

in Yuanlinchang (A) and Maosheng (B), Ningxia

表示在0.05水平显著相关。 indicates significant correlation at the 0.05 level.

3 讨论

本研究共采集48种406头寄生蜂和9种1219头捕食性天敌,主要包括多种寄生蜂、瓢虫和蝽,这些昆虫在农业生态系统中扮演着重要角色,能够有效调节害虫种群。郑丽娇等(2009)和王攀等(2023)报道,蚜虫和蓟马的主要天敌昆虫有瓢虫、食蚜蝇、草蛉、捕食性蜘蛛和寄生蜂,与本研究结果基本一致。总体来看,2处试验区中天敌昆虫种群的动态变化与害虫田间动态变化趋势一致,表现出明显的跟随效应,即当害虫数量增加时,天敌数量也会随之增多,从而形成一种相互依存关系。此外,苜蓿草田害虫发生数量与多种优势种存在显著正相关性,这与刘燊等(2023)关于天敌与害虫发生动态及相关性分析的结果一致。于雪莹(2023)报道与豌豆蚜的发生显著相关的优势种天敌是龟纹瓢虫、多异瓢虫和东亚小花蝽,与本研究结果基本一致,表明天敌昆虫在

苜蓿草田害虫防控中具有较大潜力,下一步可基于此研究制订更有效的防控策略。

本研究结果显示,在宁夏苜蓿生长前期害虫以蚜虫为主,苜蓿生长后期害虫以蓟马为主,其中豌豆蚜虫口数量在7月前较大,苜蓿斑蚜虫口数量在7月后较大。宫亚军等(2006)研究表明,持续高温时豌豆蚜发育缓慢,有些个体甚至不能发育至成蚜,即使发育到成蚜,但成蚜的产蚜量明显下降。本研究调查期间,7月前日平均气温低于27℃,7月后日最高气温可达35℃以上,推测夏季持续高温影响了田间豌豆蚜种群的数量。本研究结果还显示,豌豆蚜和苜蓿斑蚜的数量均与湿度负相关;蓟马数量与温度显著正相关。诸多研究表明,降水量较大不利于蚜虫发生(车升国等,2023;邢亚楠等,2023)。因此,推测前期蚜虫种群占据优势,7月后降水较多,蚜虫虫口数量减少,蓟马种群数量增加。同一生境下不同昆虫类群之间存在着竞争关系。如 Musa et al.

(2020)研究表明,在同种蔬菜寄主上蚜虫比蓟马更具有种群竞争优势;张治科等(2019)和禹云超(2020)研究表明,在同一寄主上不同种蓟马之间也存在种间竞争关系。在茂盛苜蓿草田,尽管7月前

蚜虫为害较重,但在苜蓿整个生长期(4—9月)蓟马种群数量始终处于较高水平,可能该地区蓟马已产生了较强的抗药性(李楠等,2022),喷施农药后,蚜虫大量死亡,而蓟马种群数量仍保持在一定水平。

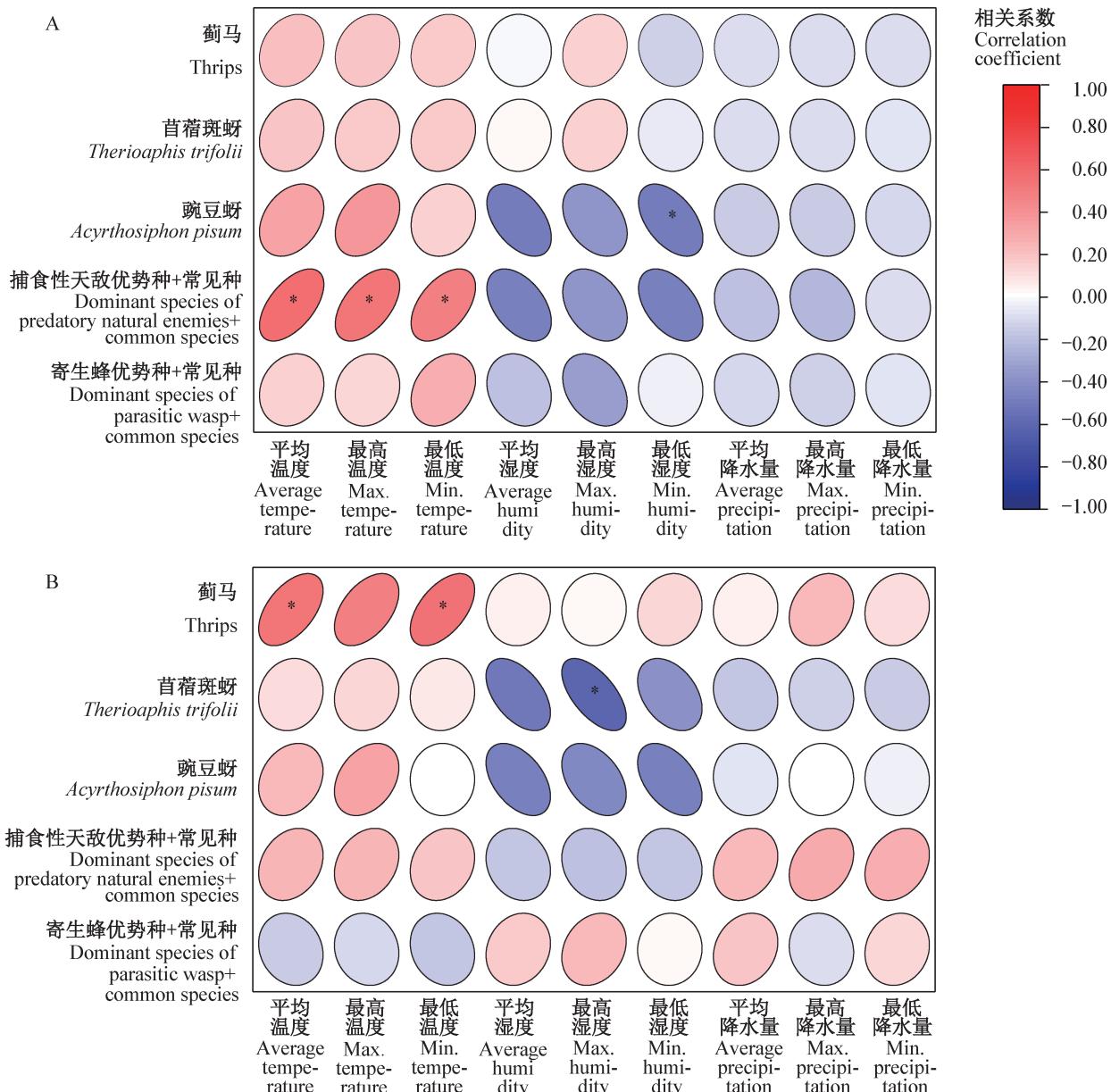


图3 宁夏园林场(A)和茂盛(B)苜蓿草田主要害虫及天敌对气候因子的响应

Fig. 3 Responses of main pests and natural enemies to climate factors in alfalfa fields in Yuanlinchang (A) and Maosheng (B), Ningxia

表示在0.05水平显著相关。 indicates significant correlation at the 0.05 level.

虽然使用化学农药能控制有害生物,但易使害虫产生抗药性,因此迫切需要创新和开发绿色生物防治技术,以减少不合理使用化学农药带来的负面影响。除了直接利用天敌昆虫进行防控,还可通过作物间套作增加农田作物景观多样性,进而间接增加天敌昆虫的多样性,如花生与玉米条带间作可增

加天敌数量,减少害虫的发生(Ju et al., 2019; 鞠倩等,2022),苜蓿与百脉根 *Lotus corniculatus* 等功能植物间作可有效控制苜蓿上蓟马的种群数量(魏淑花等,2024)。因此,后续可进一步明确利用天敌防治害虫的机理以及生态系统中天敌和害虫的互作关系,为害虫的绿色防控提供依据。

参 考 文 献 (References)

- Che SG, Feng JQ, Fan QJ, Duan BB, Lu JS. 2023. *Myzus persicae* occurrence pattern and control measures in Heze. Northern Fruits, (5): 44–45 (in Chinese) [车升国, 冯俊青, 樊庆军, 段冰冰, 卢景生. 2023. 菏泽市桃蚜发生规律与防治措施. 北方果树, (5): 44–45]
- Chen J, Guo ZW, Pan CQ, Xiang P, Liu DW. 2022. Research status of alfalfa diseases, insect pests and weeds. Journal of Grassland and Forage Science, (1): 1–14 (in Chinese) [陈婧, 郭子雯, 潘春清, 项鹏, 刘大伟. 2022. 苜蓿病虫草害研究现状. 草学, (1): 1–14]
- Dong ZK, Ge F. 2011. The fitness of insects in response to climate warming. Chinese Journal of Applied Entomology, 48(5): 1141–1148 (in Chinese) [董兆克, 戈峰. 2011. 温度升高对昆虫发生发展的影响. 应用昆虫学报, 48(5): 1141–1148]
- Gong YJ, Shi BC, Lu H, Zhang SL, Wei L. 2006. Effects of temperatures on the development and fecundity of three species of aphids. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 21(5): 96–98 (in Chinese) [宫亚军, 石宝才, 路虹, 张胜利, 魏蕾. 2006. 温度对3种蚜虫生长发育及繁殖的影响. 华北农学报, 21(5): 96–98]
- Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences. 1996. Crop pests and diseases in China: second volume. 3rd edition. Beijing: China Agriculture Press (in Chinese) [中国农业科学院植物保护研究所. 1996. 中国农作物病虫害: 下册. 3版. 北京: 中国农业出版社]
- Ju Q, Ouyang F, Gu SM, Qiao F, Yang QF, Qu MJ, Ge F. 2019. Strip intercropping peanut with maize for peanut aphid biological control and yield enhancement. Agriculture, Ecosystems & Environment, 286: 106682
- Ju Q, Ouyang F, Zhang Q, Ge F, Qu MJ. 2022. Biological control of thrips by peanut-maize strip intercropping. Journal of Plant Protection, 49(4): 1194–1200 (in Chinese) [鞠倩, 欧阳芳, 张群, 戈峰, 曲明静. 2022. 花生-玉米间作种植模式对蓟马类害虫的控制效果. 植物保护学报, 49(4): 1194–1200]
- Kavdir Y, Rasse DP, Smucker AJM. 2005. Specific contributions of decaying alfalfa roots to nitrate leaching in a Kalamazoo loam soil. Agriculture, Ecosystems & Environment, 109(1/2): 97–106
- Li CY, Meng FQ. 2023. Spatial pattern and associated driving factors of the incidence of *Dendrolimus* in China. Plant Protection, 49 (4): 108–114, 124 (in Chinese) [李晨阳, 蒙凤群. 2023. 我国松毛虫发生率的空间分布格局及其驱动因子. 植物保护, 49(4): 108–114, 124]
- Li J, Shang QX, Liu YQ, Dai WT, Li X, Wei SH, Hu GX, McNeill MR, Ban LP. 2022. Occurrence, distribution, and transmission of alfalfa viruses in China. Viruses, 14(7): 1519
- Li N, Ma W, Hong B, Wang XP. 2022. Insecticide resistance monitoring of the field populations of thrips on alfalfa in Yinchuan area. Agrochemicals, 61(9): 687–692 (in Chinese) [李楠, 马雯, 洪波, 王新谱. 2022. 银川地区4种苜蓿蚜田间种群对10种杀虫剂的抗药性测定. 农药, 61(9): 687–692]
- Li N, Ma XX, Wang XP. 2019. Research progress on a major insect pest of alfalfa *Odontothrips loti*. China Plant Protection, 39(11): 31–35 (in Chinese) [李楠, 马晓霞, 王新谱. 2019. 苜蓿重要害虫牛角花齿蚜马研究进展. 中国植保导刊, 39(11): 31–35]
- Liu S, Qu CJ, Li X, Qu MJ, Zeng QC, Yu GW, Li C. 2023. Species-level based insect community structure and correlation analysis between major pests and natural enemies in peanut fields. Journal of Peanut Science, 52(3): 20–27 (in Chinese) [刘燊, 曲春娟, 李晓, 曲明静, 曾庆朝, 于广威, 李超. 2023. 花生田种级昆虫群落结构及主要害虫与天敌相关性分析. 花生学报, 52(3): 20–27]
- Ma ZN, Yu HQ, Wang Y, Zhu MM, Zhang R, Jia YX, Wei SH. 2022. Diversity of grassland grasshoppers and responses to environmental factors in Ningxia. Chinese Journal of Biological Control, 38(6): 1459–1472 (in Chinese) [马志宁, 俞鸿千, 王颖, 朱猛蒙, 张蓉, 贾彦霞, 魏淑花. 2022. 宁夏草原蝗虫多样性及其对环境因子的响应. 中国生物防治学报, 38(6): 1459–1472]
- Musa S, Adesanya A, Shamaki T. 2020. Competition as major causative factor of population dynamics: a case study of aphids, thrips and whiteflies in *Solanaceous* vegetable plants. Abacus (Mathematics Science Series), 47(1): 292–299
- Pan MZ, Zhang Y, Cao HH, Wang XX, Liu TX. 2022. Research progresses, application, and prospects in aphid biological control on main crops in China. Journal of Plant Protection, 49(1): 146–172 (in Chinese) [潘明真, 张毅, 曹贺贺, 王杏杏, 刘同先. 2022. 我国主要农作物蚜虫生物防治的研究进展、应用与展望. 植物保护学报, 49(1): 146–172]
- Peng XF, Zhou XT, Maihemuti W, Shangguan YL, Ge F, Zhang JP, Cai ZP. 2024. Effects of different functional plants on cotton aphids and their predatory natural enemies. Journal of Plant Protection, 51(1): 39–49 (in Chinese) [彭雪凡, 周晓通, 维尼热·买合木提, 上官一磊, 戈峰, 张建萍, 蔡志平. 2024. 不同功能植物对棉花蚜虫及其捕食性天敌的影响. 植物保护学报, 51(1): 39–49]
- Ren SX, Wang XM, Pang H, Peng ZQ, Zeng T. 2009. Colored pictorial handbook of ladybird beetles in China. Beijing: Science Press (in Chinese) [任顺祥, 王兴民, 庞虹, 彭正强, 曾涛. 2009. 中国瓢虫原色图鉴. 北京: 科学出版社]
- Sarula. 2023. Mechanism of physical resistance to thrips in alfalfa (*Medicago sativa* L.). Master thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University (in Chinese) [萨如拉. 2023. 基于物理防御的苜蓿抗蓟马机理研究. 硕士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学]
- Shi DD, Zhang S, Liang P. 2023. The current status of insecticide resistance in the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover and the management strategies. Plant Protection, 49(5): 270–278 (in Chinese) [石丹丹, 张帅, 梁沛. 2023. 棉蚜抗药性现状及治理策略. 植物保护, 49(5): 270–278]
- Shi M, Cao S, Hu JL, Dang SZ, Li YZ. 2019. Investigation of soil insect pest species, damage and resistance in alfalfa. Pratacultural Science, 36(11): 2895–2906 (in Chinese) [史敏, 曹师, 胡进玲, 党淑钟, 李彦忠. 2019. 苜蓿地下害虫种类、为害及抗虫性评价. 草业科学, 36(11): 2895–2906]
- Tang YT, Wang MQ, Zhang LS. 2023. Development and population pa-

- rameters of *Picromerus lewisi* Scott (Hemiptera: Pentatomidae) at different temperatures. Chinese Journal of Biological Control, 39(5): 1076–1082 (in Chinese) [唐艺婷, 王孟卿, 张礼生. 2023. 温度对益蝽的生长发育和种群生命参数的影响. 中国生物防治学报, 39(5): 1076–1082]
- Wang P, Yang SL, Wang Y, Yang F, Luo HB, Zhou LL, Si SY. 2023. Identification and control of *Megalurothrips usitatus*, a microscopic pest of vegetables. China Vegetables, (12): 109–113 (in Chinese) [王攀, 杨绍丽, 望勇, 杨帆, 骆海波, 周利琳, 司升云. 2023. 蔬菜微小型害虫普通大薺马的鉴别与防治. 中国蔬菜, (12): 109–113]
- Wang XP, Yang GJ. 2010. Insects in Helan Mountain, Ningxia. Yinchuan: Ningxia People's Publishing House (in Chinese) [王新谱, 杨贵军. 2010. 宁夏贺兰山昆虫. 银川: 宁夏人民出版社]
- Wei SH, Liu XQ, Wang Y, Liu C, Zhang R. 2024. Effects of intercropping alfalfa and functional plants on population of thrips and their natural enemies *Oris similis*. Chinese Journal of Biological Control, 40(1): 99–107 (in Chinese) [魏淑花, 刘学琴, 王颖, 刘畅, 张蓉. 2024. 苜蓿草田间作功能植物对苜蓿薺马及天敌小花蝽种群的影响. 中国生物防治学报, 40(1): 99–107]
- Wu SY, Xu LR, Li N, Wang DJ, Lei ZR. 2016. Natural enemy diversity on trapping crops and its application for control of aphids in greenhouse cucumber. Scientia Agricultura Sinica, 49(15): 2955–2964 (in Chinese) [吴圣勇, 徐丽荣, 李宁, 王登杰, 雷仲仁. 2016. 天敌昆虫在诱集植物上的多样性及对温室蚜虫的防治作用. 中国农业科学, 49(15): 2955–2964]
- Wu YF, Zhao XH, Temuerbuhe. 1990. The thrips are main injurious insects of alfalfa production in China. Chinese Journal of Grassland, 12(3): 65–66, 64 (in Chinese) [吴永敷, 赵秀华, 特木尔布和. 1990. 薺马是我国苜蓿生产的主要害虫. 中国草地, 12(3): 65–66, 64]
- Wu ZG, Zhu MM, Zhang R, Zhang ZH, Li ZH. 2013. An assessment of economic losses of alfalfa caused by *Theroaphis trifolii* (Homoptera: Callaphididae) in China. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, 54(11): 74–77 (in Chinese) [吴志刚, 朱蒙猛, 张蓉, 张泽华, 李志红. 2013. 苜蓿斑蚜对我国苜蓿商品草的经济损失评估. 宁夏农林科技, 54(11): 74–77]
- Xing YN, Guo L, Yu SZ, Ma XH, Che XQ, Dai KT, Sang HX. 2023. Population dynamics and spatial distribution of aphids in paddy fields in Panjin, Liaoning, China. China Plant Protection, 43(5): 41–45 (in Chinese) [邢亚楠, 郭莉, 于深州, 马晓慧, 车喜庆, 代克涛, 桑海旭. 2023. 辽宁盘锦稻田蚜虫种群动态和空间分布. 中国植保导刊, 43(5): 41–45]
- Yang PZ. 2012. Mechanism involved in drought/salt tolerance improvement in alfalfa due to symbiotic interaction with rhizobium. PhD thesis. Yangling: Northwest A&F University (in Chinese) [杨培志. 2012. 紫花苜蓿根瘤菌共生对干旱及盐胁迫的响应机制研究. 博士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学]
- You MS, Liu YF, Hou YM. 2004. Biodiversity and integrated pest management in agroecosystems. Acta Ecologica Sinica, 24(1): 117–122 (in Chinese) [尤民生, 刘雨芳, 侯有明. 2004. 农田生物多样性与害虫综合治理. 生态学报, 24(1): 117–122]
- Yu XY. 2023. Field occurrence dynamics and natural enemy community of *Aphis glycines* in Changchun area. Master thesis. Changchun: Jilin Agricultural University (in Chinese) [于雪莹. 2023. 长春地区大豆蚜田间发生动态及其天敌群落研究. 硕士学位论文. 长春: 吉林农业大学]
- Yu YC. 2020. The interspecific competition between *Frankliniella occidentalis* (Perganda) and *Megalurothrips usitatus* (Bagrall) under laboratory conditions. Master thesis. Guiyang: Guizhou University (in Chinese) [禹云超. 2020. 室内条件下西花薺马与普通大薺马的种间竞争. 硕士学位论文. 贵阳: 贵州大学]
- Zhang B, Zhou MQ, Wang J, Pu Y, Zhang L, Yuan ML. 2016. Species checklist and research status of alfalfa insect pests reported in China. Pratacultural Science, 33(4): 785–812 (in Chinese) [张奔, 周敏强, 王娟, 蒲毅, 张丽, 袁明龙. 2016. 我国苜蓿害虫种类及研究现状. 草业科学, 33(4): 785–812]
- Zhang R, Ma JH, Wang JH, Ren XS. 2003a. The occurrence and control strategy of alfalfa disease and insects in Ningxia. Pratacultural Science, 20(6): 40–44 (in Chinese) [张蓉, 马建华, 王进华, 任学山. 2003a. 宁夏苜蓿病虫害发生现状及防治对策. 草业科学, 20(6): 40–44]
- Zhang R, Ma JH, Yang F, Chang ZB, Li Y, Wang BF, Yang T. 2003b. Preliminary study on predator species and their occurrence regulation of alfalfa insects. Pratacultural Science, 20(7): 60–62 (in Chinese) [张蓉, 马建华, 杨芳, 常兆斌, 李云, 王秉锋, 杨涛. 2003b. 宁夏苜蓿害虫天敌种类及其田间发生规律的初步研究. 草业科学, 20(7): 60–62]
- Zhang R, Wei SH, Gao LY, Zhang ZH. 2014. Colored pictorial handbook of grassland insects in Ningxia. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press (in Chinese) [张蓉, 魏淑花, 高立原, 张泽华. 2014. 宁夏草原昆虫原色图鉴. 北京: 中国农业科学技术出版社]
- Zhang SQ. 2022. Research on production capacity, benefit and value chain of multiple cropping patterns after wheat in Yellow River irrigation region in Ningxia. Master thesis. Yangling: Northwest A&F University (in Chinese) [张思奇. 2022. 宁夏引黄灌区麦后复种模式的生产力、效益与价值链研究. 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学]
- Zhang ZK, Wu SY, Lei ZR, Kang PZ, Du YN, Zhang LR. 2019. Population competition and occurrence trend of *Frankliniella occidentalis* and *Frankliniella intonsa* on Yinchuan greenhouse pepper. Plant Quarantine, 33(5): 13–17 (in Chinese) [张治科, 吴圣勇, 雷仲仁, 康萍芝, 杜玉宁, 张丽荣. 2019. 银川设施辣椒上西花薺马与花薺马的种群竞争及发生态势. 植物检疫, 33(5): 13–17]
- Zheng LJ, Zhang L, Zheng P. 2009. Occurrence pattern of crop aphids and their natural enemy species. Modern Agricultural Science and Technology, (1): 156 (in Chinese) [郑丽娇, 张丽, 郑平. 2009. 农作物蚜虫发生规律及其天敌种类. 现代农业科技, (1): 156]

(责任编辑:张俊芳)