网络出版时间:2025-10-31 DOI:10.13207/j.jnwafu.2026.04.015

恩施烟区昆虫多样性及优势捕食性天敌发生动态研究

郑雪眉[1],夏鹏亮[2],王博[1],卢砚[1],梅建飞[3],孙加伟[3],张世泽[1],刘同先[4],冯毅[1]

(1 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/农业农村部西北黄土高原作物有害生物综合治理重点实验室,陕西 杨凌 712100;2 湖北省烟草公司恩施州公司,湖北 恩施 445000;
3 贵州卓豪农业科技股份有限公司,贵州 遵义 563100;4 贵州大学 农学院,贵州 贵阳 550525)

[摘 要] 【目的】明确恩施烟田捕食性天敌昆虫种类及其发生动态,为烟草有害生物的绿色防控提供参考。【方法】2019年1月至2021年7月,采用马来氏网对恩施烟田昆虫进行监测调查,并利用Rényi多样性、相对丰富度、非度量多维尺度分析(non-metric multidimensional scaling,NMDS)等方法,对捕食性天敌进行多样性和相似性分析,并进一步分析了温度与捕食性天敌发生动态的关系。【结果】2019年1月至2021年7月,在恩施烟田共捕获捕食性天敌4 092头,隶属于5目8科36属46种,其中优势类群为食蚜蝇科(Syrphidae)和瓢虫科(Coccinellidae),优势种为长翅细腹蚜蝇(*Sphaerophoria menthastri*)、东方墨蚜蝇(*Melanostoma orientale*)、暗红小蚜蝇(*Paragus haemorrhous*)、龟纹瓢虫(*Propylaea japonica*)、盖端小瓢虫(*Scymnus perdere*)和异色瓢虫(*Harmonia axyridis*);共捕获植食性害虫33 614头,包括半翅目(Hemiptera)叶蝉科(Cicadellidae)21 926头,异翅亚目植食性蝽类(Phytophagous Heteroptera)5 709头,鳞翅目(Lepidoptera)昆虫4 695头,直翅目(Orthoptera)昆虫1 284头。研究发现,随着环境温度的升高,捕食性食蚜蝇和瓢虫数量均显著增加。2020年捕食性食蚜蝇的物种多样性略高于2019年;2021年捕食性食蚜蝇的物种多样性在尺度参数α值大于0.25时显著高于2019年和2020年,在α值小于0.25时最低。2020年捕食性食蚜蝇的物种组成与2021年基本相同,但均与2019年存在显著差异。捕食性瓢虫群落结构稳定,2019—2021年其物种多样性变化并不显著;2020年其物种多样性高于2021年,2019年其物种多样性在α值小于1时高于其他年份,在α值大于1时急剧下降。2019年捕食性瓢虫的物种组成最丰富,2020年和2021年较2019年有所缩减,但2020年与2021年的物种组成高度相似。【结论】恩施地区烟田优势天敌类群为食蚜蝇科和瓢虫科,环境温度对捕食性天敌的数量影响较大。其中2021年捕食性食蚜蝇的物种多样性最高,2019年其物种组成丰富度最高;捕食性瓢虫群落结构稳定,2019年其物种多样性和物种组成丰富度均最高。

[关键词] 烟田;捕食性天敌;昆虫多样性;湖北恩施
[中图分类号] S431.16 [文献标志码] A [文章编号] 1671-9387(2026)04-0133-10

Insect diversity and occurrence dynamics of dominant predatory natural enemies in Enshi tobacco fields

ZHENG Xuemei[1],XIA Pengliang[2],WANG Bo[1],LU Yan[1],MEI Jianfei[3],SUN Jiawei[3],ZHANG Shize[1],LIU Tongxian[4],FENG Yi[1]

(1 *Key Laboratory of Plant Protection Resources and Pest Management of Ministry of Education / Key Laboratory of Integrated Pest Management on the Loess Plateau of Ministry of Agriculture and Rural Affairs,College of Plant Protection,Northwest A&F*

[收稿日期] 2024-12-27 [修回日期] 2025-05-21
[基金项目] 国家重点研发计划项目"天敌昆虫防控技术及产品研发"(2017YFD0201006);西北农林科技大学推广联盟农业科学试验站项目(A2070021022);中国烟草总公司科技项目(110202102040);湖北省烟草公司科技项目(027Y2020-006);西北农林科技大学省级大学生创新创业计划项目(S202210712430)
[作者简介] 郑雪眉(2000—),女,陕西宝鸡人,在读硕士,主要从事农业昆虫与害虫防治研究。E-mail:zhengxuemei0819@nwafu.edu.cn
[通信作者] 冯毅(1983—),男,北京通州人,副教授,博士,硕士生导师,主要从事害虫生物防治研究。E-mail:yifeng@nwafu.edu.cn

中国知网 https://www.cnki.net

University, *Yangling*, *Shaanxi* 712100, *China*; 2 *Enshi Tobacco Company of Hubei Province*, *Enshi*, *Hubei* 445000, *China*;
3 *Guizhou Zhuohao Agricultural Technology Co.*, *Ltd.*, *Zunyi*, *Guizhou* 563100, *China*;
4 *College of Agriculture*, *Guizhou University*, *Guiyang*, *Guizhou* 550525, *China*)

Abstract: 【Objective】 This study aims to elucidate the species composition and population dynamics of predatory natural enemies in Enshi tobacco fields to support the green control of tobacco pests. 【Method】 From January 2019 to July 2021, insects were monitored in Enshi tobacco fields using Malaise traps. The species diversity and community similarity of predatory insect functional groups were analyzed using the Rényi diversity method, relative abundance indices, non-metric multidimensional scaling (NMDS). Additionally, the relationship between ambient temperature and the population dynamics of these groups was further explored. 【Result】 A total of 4 092 predatory natural enemies, belonging to 46 species, 36 genera, 8 families and 5 orders, were captured in Enshi tobacco fields from January 2019 to July 2021. The dominant families were Syrphidae and Coccinellidae, with dominant species including *Sphaerophoria menthastri*, *Melanostoma orientale*, *Paragus haemorrhous*, *Propylaea japonica*, *Scymnus perdere*, and *Harmonia axyridis*. A total of 33 614 herbivorous pests were recorded, comprising 21 926 Cicadellidae (Hemiptera), 5 709 Phytophagous Heteroptera suborder, 4 695 Lepidoptera, and 1 284 Orthoptera. The study found that the populations of Syrphidae and Coccinellidae increased significantly with rising ambient temperatures. Syrphidae species diversity was slightly higher in 2020 than in 2019. In 2021, it significantly surpassed the diversity levels of both previous years when scale parameter α diversity values exceeded 0.25, whereas it reached the lowest level among the three years when α values were below 0.25. The species composition of Syrphidae in 2020 and 2021 remained basically identical, but both showed significant differences from the composition in 2019. The Coccinellidae community exhibited a stable structure, with no significant changes in species diversity observed from 2019 to 2021. Specifically, species diversity in 2020 was higher than that in 2021. When α diversity values were below 1, the species diversity in 2019 community was higher than that in the other two years, but it dropped sharply when α values exceeded 1. The species composition of Coccinellidae was the most abundant in 2019, and became reduced in 2020 and 2021. However, the compositions of the latter two years were highly similar to each other. 【Conclusion】 The dominant predatory natural enemy groups in Enshi tobacco fields are Syrphidae and Coccinellidae. Ambient temperature exerts a substantial influence on the abundance of predatory natural enemies. Among them, Syrphidae exhibited the highest species diversity in 2021, while their species composition richness was highest in 2019. Coccinellidae maintained stable community structure, achieving the highest species diversity and richness in 2019.

Key words: tobacco fields; predatory natural enemies; insect diversity; Enshi, Hubei

随着气候变化和种植模式调整,病虫害对烟草产量和品质的影响不断加剧[1]。烟草种植亟需虫害可持续管理技术[2]。保护生物多样性,充分利用优势天敌昆虫对害虫种群的自然调控是可持续且环保的害虫防治手段[3-4]。恩施地处中纬度亚热带,年降水量在1 000 mm以上,具有优良的生态环境及丰富的天敌资源。作为国家四大烟叶生产基地之一,恩施烟区每年烟草的种植面积和卷烟销量都位于我国前列。因此,明确恩施烟草产区优势天敌昆虫的种类及其发生动态,对于推动和完善该地区烟草害虫的绿色防控,提升烟草种植的生态效益和经济效益具有十分重要的意义。

近年来,我国开展了一系列针对烟草害虫资源的调查研究工作。结果发现,河南省烟草主要害虫为烟蚜(*Myzus persicae*)、烟青虫(*Helicoverpa assulta*)及细毛蝽(*Dolycoris baccarum*),其主要天敌有5目12科34种天敌昆虫和13种蜘蛛[5];山东省烟草害虫的主要天敌有140种,其中隶属昆虫纲9目35科112种,蛛形纲2目10科28种[6]。1995—1999年对福建省烟草害虫及其天敌资源调查发现,烟草害虫天敌16种,分属于4目5科12属[7]。2006—2008年在永州市宁远县对烟草害虫天敌种类进行调查,共发现烟草害虫天敌2纲10目51种,烟青虫和斜纹夜蛾(*Spodoptera litura*)的最高寄生率分别

中国知网 https://www.cnki.net

达到 69.8% 和 65.5%，两者均被棉铃虫齿唇姬蜂（*Campoletis chlorideae*）和螟蛉悬茧姬蜂（*Charops bicolor*）寄生[8]。2013年5－8月对陕西烟田调查发现，蚜虫主要天敌有14种，隶属于4目6科，其优势种为异色瓢虫（*Harmonia axyridis*）、大灰食蚜蝇（*Eupeodes corollae*）和烟蚜茧蜂（*Aphidius gifuensis*）[9]。2019－2020年对贵州省惠水县代表性烟田节肢动物的调查结果表明，惠水县烟田有节肢动物83种，分属于2纲13目55科，其中斜纹夜蛾和烟蚜危害严重，其他害虫零星发生，烟蚜茧蜂、棉铃虫齿唇姬蜂和异色瓢虫是3种主要天敌昆虫[10]。目前国内关于烟草害虫天敌资源种类的调查多只在一年内某时间段进行，或仅通过人工调查，缺乏对烟区天敌昆虫种类及其动态长期、标准化的系统监测，因而对于关键烟草害虫及其优势天敌的种类以及其周年发生动态仍不明确。

恩施州地形、地貌复杂，气候条件独特，预示着不同地区烟田的害虫及其相应天敌功能集团可能存在一定差异。本研究基于长期性的天敌种群监测，以明确恩施烟田生态系统中捕食性天敌昆虫的物种组成及其优势捕食性天敌的种群动态，为烟草害虫的可持续绿色防控提供依据。

1　材料与方法

1.1　调查地点和时间

研究样地位于恩施市区西郊恩施清江源科技园（109°25′ E，30°19′ N）及其周边烟田，距市区10 km，海拔800～1 500 m。该样地内主要作物为烟草，小部分区域种植玉米，周边植被主要为野生乔木和杂草等。在样地烟田内选取5个样点，间距1 km。每个样点架设1张马来氏网，监测期为2019年1月－2021年7月，监测频率为2周1次，受一些客观因素影响，部分调查时间略有调整。

1.2　调查方法

本研究采用的马来氏网保留两面开放的结构，中央是一个隔断，收集瓶固定在网一侧的最高处[11]。收集瓶内放2/3无水乙醇，昆虫掉入收集瓶内完成采集。收集完成后的标本瓶置于－20 ℃冰箱保存。使用《中国烟草昆虫》[12]、《王家园昆虫》[13]、《中国昆虫生态大图鉴》[14]、《昆虫分类》[15]、《中国瓢虫亚科图志》[16]、《中国动物志：昆虫纲》[17]和《甘肃蚜蝇科图志》[18]等进行种类鉴定。对鉴定完成的昆虫，根据其在烟田生态系统中与作物的关系进行区分。参考国内同类研究，将所采集昆虫分为害虫、天敌昆虫以及无明显直接经济价值或危害，与作物无直接营养关系并在生态系统中承担一定功能的中性昆虫[19-21]。采用反映均匀度和丰富度指标的多样性指数进行统计，以期在一定范围内反映昆虫群落的组织水平、结构类型、发展阶段和稳定程度[22]等。

气象数据下载自美国国家气候数据中心（National Climatic Data Center，NCDC）的公共FTP服务器[23] ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/noaa/isd-lite/，包括恩施2019－2021年每3 h记录一次的气温等详细气象数据。

1.3　数据分析

采用Rényi多样性指数、相对丰富度来测定群落组织水平；采用非度量多维尺度（non-metric multidimensional scaling，NMDS）分析不同年份的物种组成差异；使用广义线性模型（generalized linear models，GLM）分析采样期间环境温度与捕食性天敌数量的关系；使用Microsoft Excel 2019进行数据处理，其中数据统计分析、模型拟合及检验均采用R4.2.1版本[24]。

（1）Rényi多样性指数。通过尺度参数α的连续变化，能够比较全面地刻画群落的多样性特征[25-26]。

$$H_\alpha = \ln\left(\sum P_i^\alpha\right)/(1-\alpha)。\quad (1)$$

式中：H_α为Rényi多样性曲线取值；P_i为样地中每个物种占物种总数的百分比；α为尺度参数，数值分别为0，0.25，0.5，1，2，4，8和∞，当α取值为0，1，2和∞时，分别对应物种丰富度、Shannon多样性指数、Simpson多样性指数和Berger-Parker多样性指数。

（2）相对丰富度。描述单个物种占群落物种总数的比例，其计算公式如下：

$$D_i = N_i/N。\quad (2)$$

式中：D_i表示第i个物种的相对丰富度，即该物种在群落中所占的比例；N_i表示第i个物种的个体数量；N表示群落中所有物种的个体总数，即该群落中全部物种的个体数量之和。

2　结果与分析

2.1　恩施烟田昆虫种类及数量

按照对人类活动、生态系统和经济作物的影响，本研究将采用马来氏网收集到的昆虫分为害虫（对农作物等造成直接或间接危害）、天敌昆虫（以害虫为食或寄生于害虫）和中性昆虫（对人类活动

中国知网　https://www.cnki.net

和生态系统无明显益害)3个类别,其中害虫主要包括鳞翅目,半翅目异翅亚目植食性蝽类、叶蝉和蚜虫,直翅目蝗虫,膜翅目叶蜂等;天敌昆虫包括食蚜蝇、瓢虫、褐蛉、草蛉、虎甲、步甲、寄生蜂、猎蝽等。由于植食性昆虫与中性昆虫种类繁多且难以鉴定,同时也并非此次重点研究对象,故在文中未详细展出。

2.1.1 恩施烟田捕食性天敌物种数量及其相对丰富度 由表1可知,2019—2021年采用马来氏网在恩施烟田采集到的捕食性天敌昆虫共4 092头,包含5目8科36属46种,其中双翅目食蚜蝇科12属14种3 073头、鞘翅目瓢虫科16属22种907头、鞘翅目虎甲科1属1种36头、半翅目猎蝽科3属5种25头、半翅目蝽科1属1种1头、脉翅目褐蛉科1属1种33头、脉翅目草蛉科1属1种7头以及长翅目蝎蛉科1属1种10头。捕食性天敌集团中各类昆虫在2019—2021年占比差异不大,其中数量最多的是食蚜蝇,平均占比75.10%;其次是瓢虫,平均占比为22.17%;其他捕食性天敌占比仅为2.73%。说明食蚜蝇和瓢虫的数量在捕食性天敌集团中占据绝对优势,是恩施烟田的主要天敌类群。

在捕食性天敌中,食蚜蝇类相对丰富度最高的是长翅细腹蚜蝇(*Sphaerophoria menthastri*),其次为东方墨蚜蝇(*Melanostoma orientale*)、暗红小蚜蝇(*Paragus haemorrhous*)、黑带食蚜蝇(*Episyrphus balteatus*)以及大灰优蚜蝇(*Eupeodes corollae*);捕食性瓢虫相对丰富度最高的是龟纹瓢虫(*Propylaea japonica*),其次为盖端小瓢虫(*Scymnus perdere*)、异色瓢虫(*Harmonia axyridis*)、黑方突毛瓢虫(*Pseudoscymnus kurohime*)以及变斑隐势瓢虫(*Cryptogonus orbiculus*)。

表1 2019—2021年恩施烟田捕食性天敌物种数量及其相对丰富度

Table 1 Species richness and relative abundance of predatory natural enemies in Enshi tobacco fields from 2019 to 2021

目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species	2019 数量 Number	2019 相对丰富度 Relative abundance	2020 数量 Number	2020 相对丰富度 Relative abundance	2021 数量 Number	2021 相对丰富度 Relative abundance	2019—2021 总数量 Total number	2019—2021 总相对丰富度 Total relative abundance
双翅目 Diptera	食蚜蝇科 Syrphidae	细腹蚜蝇属 *Sphaerophoria*	长翅细腹蚜蝇 *Sphaerophoria menthastri*	1 017	0.574 6	723	0.515 7	223	0.242 4	1 963	0.479 7
		墨蚜蝇属 *Melanostoma*	东方墨蚜蝇 *Melanostoma orientale*	122	0.068 9	159	0.113 4	281	0.305 4	562	0.137 3
		小蚜蝇属 *Paragus*	暗红小蚜蝇 *Paragus haemorrhous*	156	0.088 1	61	0.043 5	77	0.083 7	294	0.071 8
			双色小蚜蝇 *Paragus bicolor*	1	0.000 6	1	0.000 7	0	—	2	0.000 5
		黑带蚜蝇属 *Episyrphus*	黑带食蚜蝇 *Episyrphus balteatus*	29	0.016 4	47	0.033 5	56	0.060 9	132	0.032 3
			裂黑带蚜蝇 *Episyrphus cretensis*	0	—	4	0.002 9	9	0.009 8	13	0.003 2
		优食蚜蝇属 *Eupeodes*	大灰优蚜蝇 *Eupeodes corollae*	5	0.002 8	22	0.015 7	2	0.002 2	29	0.007 1
		贝蚜蝇属 *Betasyrphus*	狭带贝蚜蝇 *Betasyrphus serarius*	0	—	4	0.002 9	18	0.019 6	22	0.005 4
		长角蚜蝇属 *Chrysotoxum*	棕腹长角蚜蝇 *Chrysotoxum baphrus*	16	0.009 0	4	0.002 9	0	—	20	0.004 9
		粗股蚜蝇属 *Syritta*	黄环粗股蚜蝇 *Syritta pipiens*	9	0.005 1	6	0.004 3	0	—	15	0.003 7
		管蚜蝇属 *Eristalis*	灰带管蚜蝇 *Eristalis cerealis*	4	0.002 3	4	0.002 9	4	0.004 3	12	0.002 9
		狭腹蚜蝇属 *Meliscaeva*	黄带狭腹蚜蝇 *Meliscaeva cinctella*	2	0.001 1	3	0.002 1	1	0.001 1	6	0.001 5
		异食蚜蝇属 *Allograpta*	黄胫异蚜蝇 *Allograpta aurotibia*	1	0.000 6	1	0.000 7	0	—	2	0.000 5
		条胸蚜蝇属 *Helophilus*	狭带条胸蚜蝇 *Helophilus virgatus*	1	0.000 6	0	—	0	—	1	0.000 2
	小计 Subtotal			1 363	0.770 1	1 039	0.741 1	671	0.729 3	3 073	0.751 0

中国知网 https://www.cnki.net

表 1（续）　Table 1(continued)

目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species	2019 数量 Number	2019 相对丰富度 Relative abundance	2020 数量 Number	2020 相对丰富度 Relative abundance	2021 数量 Number	2021 相对丰富度 Relative abundance	2019－2021 总数量 Total number	2019－2021 总相对丰富度 Total relative abundance
鞘翅目 Coleoptera	瓢虫科 Coccinellidae	龟纹瓢虫属 *Propylaea*	龟纹瓢虫 *Propylaea japonica*	139	0.078 5	66	0.047 1	47	0.051 1	252	0.061 6
			黄宝盘瓢虫 *Propylaea luteoputstulata*	20	0.011 3	6	0.004 3	0	—	26	0.006 4
		小毛瓢虫属 Scymnus	盖端小瓢虫 *Scymnus (Pullus) perdere*	26	0.014 7	51	0.036 4	49	0.053 3	126	0.030 8
			后斑小瓢虫 *Scymnus (Pullus) posticalis*	13	0.007 3	9	0.006 4	35	0.038 0	57	0.013 9
			丽小瓢虫 *Scymnus (Pullus) formosanus*	27	0.015 3	2	0.001 4	5	0.005 4	34	0.008 3
		和谐瓢虫属 *Harmonia*	异色瓢虫 *Harmonia axyridis*	38	0.021 5	44	0.031 4	11	0.012 0	93	0.022 7
		方突毛瓢虫属 *Pseudoscymnus*	黑方突毛瓢虫 *Pseudoscymnus kurohime*	9	0.005 1	21	0.015 0	44	0.047 8	74	0.018 1
		隐势瓢虫属 *Cryptogonus*	变斑隐势瓢虫 *Cryptogonus orbiculus*	32	0.018 1	24	0.017 1	10	0.010 9	66	0.016 1
		广盾瓢虫属 *Platynaspis*	四斑广盾瓢虫 *Platynaspis maculosa* Weise	16	0.009 0	29	0.020 7	9	0.009 8	54	0.013 2
		异斑瓢虫属 *Aiolocaria*	奇变瓢虫 *Aiolocaria mirabilis*	24	0.013 6	18	0.012 8	0	—	42	0.010 3
		巧瓢虫属 *Oenopia*	粗网巧瓢虫 *Oenopia chinensis*	5	0.002 8	27	0.019 3	2	0.002 2	34	0.008 3
			六斑巧瓢虫 *Oenopia sexmaculata*	7	0.004 0	2	0.001 4	0	—	9	0.002 2
			黄缘巧瓢虫 *Oenopia sauzeti*	9	0.005 1	2	0.001 4	0	—	11	0.002 7
		宽柄月瓢虫属 *Menochilus*	六斑月瓢虫 *Menochilus sexmaculata*	8	0.004 5	1	0.000 7	0	—	9	0.002 2
		食螨瓢虫属 *Stethorus*	深点食螨瓢虫 *Stethorus punctillum* Weise	5	0.002 8	0	—	0	—	5	0.001 2
		红瓢虫属 *Rodolia*	四斑红瓢虫 *Rodolia quadrimaculata*	1	0.000 6	2	0.001 4	2	0.002 2	5	0.001 2
		显盾瓢虫属 *Hyperaspis*	亚洲显盾瓢虫 *Hyperaspis asiatica*	0	—	0	—	3	0.003 3	3	0.000 7
		盘瓢虫属 *Lemnia*	黄斑盘瓢虫 *Lemnia saucia*	2	0.001 1	0	—	0	—	2	0.000 5
			周圆盘瓢虫 *Lemnia circumvelata*	1	0.000 6	0	—	0	—	1	0.000 2
		素菌瓢虫属 *Illeis*	陕西素菌瓢虫 *Illeis shensiensis*	1	0.000 6	1	0.000 7	0	—	2	0.000 5
		大丽瓢虫属 *Adalia*	二星瓢虫 *Adalia bipunctata*	1	0.000 6	0	—	0	—	1	0.000 2
		裸瓢虫属 *Calvia*	十四星裸瓢虫 *Calvia quatuordecimguttata*	0	—	1	0.000 7	0	—	1	0.000 2
	小计 Subtotal			384	0.216 9	306	0.218 3	217	0.235 9	907	0.221 7
	虎甲科 Cicindelidae	虎甲属 *Cicindela*	星斑虎甲 *Cicindela kaleea* Bates	17	0.009 6	16	0.011 4	3	0.003 3	36	0.008 8
	小计 Subtotal			17	0.009 6	16	0.011 4	3	0.003 3	36	0.008 8

中国知网　https://www.cnki.net

表1(续) Table 1(continued)

目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species	2019 数量 Number	2019 相对丰富度 Relative abundance	2020 数量 Number	2020 相对丰富度 Relative abundance	2021 数量 Number	2021 相对丰富度 Relative abundance	2019—2021 总数量 Total number	2019—2021 总相对丰富度 Total relative abundance
半翅目 Hemiptera	猎蝽科 Reduviidae	猛猎蝽属 *Sphedanolestes*	环斑猛猎蝽 *Sphedanolestes impressicollis*	2	0.001 1	10	0.007 1	5	0.005 4	17	0.004 2
			红缘猛猎蝽 *Sphedanolestes gularis*	0	—	1	0.000 7	0	—	1	0.000 2
		瑞猎蝽属 *Rhynocoris*	红彩瑞猎蝽 *Rhynocoris fuscipes*	0	—	0	—	3	0.003 3	3	0.000 7
			云斑瑞猎蝽 *Rhynocoris incertis*	0	—	2	0.001 4	0	—	2	0.000 5
		菱猎蝽属 *Isyndus*	褐菱猎蝽 *Isyndus obscurus*	0	—	2	0.001 4	0	—	2	0.000 5
	小计 Subtotal			2	0.001 1	15	0.010 7	8	0.008 7	25	0.006 1
	蝽科 Pentatomidae stinkbug	蝽蝽属 *Arma*	蝽蝽 *Arma chinensis*	1	0.000 6	0	—	0	—	1	0.000 2
	小计 Subtotal			1	0.000 6	0	—	0	—	1	0.000 2
脉翅目 Neuroptera	褐蛉科 Hemerobiidae	褐蛉属 *Micromus*	点线脉褐蛉 *Micromus multipunctatus* Matsumura	0	—	23	0.016 4	10	0.010 9	33	0.008 1
	小计 Subtotal			0	—	23	0.016 4	10	0.010 9	33	0.008 1
	草蛉科 Chrysopidae	草蛉属 *Chrysopa*	丽草蛉 *Chrysopa formosa*	3	0.001 7	3	0.002 1	1	0.001 1	7	0.001 7
	小计 Subtotal			3	0.001 7	3	0.002 1	1	0.001 1	7	0.001 7
长翅目 Mecoptera	蝎蛉科 Panorpidae	蝎蛉属 *Panorpa*	斑蝎蛉 *Panorpa deceptor*	0	—	0	—	10	0.010 9	10	0.002 4
	小计 Subtotal			0	—	0	—	10	0.010 9	10	0.002 4
合计 Total				1 770	1	1 402	1	920	1	4 092	1

2.1.2 恩施烟田害虫物种数量及其相对丰富度 由表2可知,2019—2021年在恩施烟田捕获植食性害虫33 614头,包括半翅目叶蝉21 926头,异翅亚目植食性蝽类5 709头,鳞翅目害虫4 695头和直翅目害虫1 284头。在数量上,半翅目叶蝉远高于其他3类害虫,其次为异翅亚目植食性蝽类、鳞翅目害虫和直翅目害虫。

表2 2019—2021年恩施烟田各类害虫发生物种数量及其相对丰富度

Table 2 Species richness and relative abundance of insect pests in Enshi tobacco fields from 2019 to 2021

类群 Class	2019 数量 Number	2019 相对丰富度 Relative abundance	2020 数量 Number	2020 相对丰富度 Relative abundance	2021 数量 Number	2021 相对丰富度 Relative abundance	2019—2021 总数量 Total number	2019—2021 总相对丰富度 Total relative abundance
半翅目叶蝉 Hemiptera Cicadellidae	9 778	0.612 6	7 834	0.672 5	4 314	0.718 5	21 926	0.652 3
异翅亚目植食性蝽类 Phytophagous Heteroptera	3 472	0.217 5	1 906	0.163 6	331	0.055 1	5 709	0.169 8
鳞翅目 Lepidoptera	2 182	0.136 7	1 340	0.115 0	1 173	0.195 4	4 695	0.139 7
直翅目 Orthoptera	529	0.033 2	569	0.048 9	186	0.031 0	1 284	0.038 2
合计 Total	15 961	1	11 649	1	6 004	1	33 614	1

2.2 温度对恩施烟田捕食性天敌昆虫发生动态的影响

作为影响昆虫生长发育的关键因子之一,温度对昆虫种群发生动态具有深远影响。由图1可知,随着环境温度的升高,恩施烟田捕食性天敌总体数量(图1-A)以及捕食性食蚜蝇、捕食性瓢虫数量(图1-B)均显著增多。

由表3可知,环境温度每升高1 ℃,捕食性天敌总体数量,捕食性瓢虫、捕食性食蚜蝇以及其他捕食性天敌数量的对数计数期望值(expected log count)分别增加0.246 92,0.195 40,0.314 91和0.069 43。表明温度升高对不同天敌集团物种数量的影响程度具有显著差异,其中温度升高对捕食性

中国知网 https://www.cnki.net

瓢虫数量的正向影响显著高于除捕食性食蚜蝇以外的其他捕食性天敌（$P<0.001$），温度升高对捕食性食蚜蝇数量的正向影响显著高于除捕食性瓢虫以外的其他捕食性天敌（$P<0.001$）。此外，环境温度与捕食性天敌类群有显著的交互作用（$P<0.001$）。

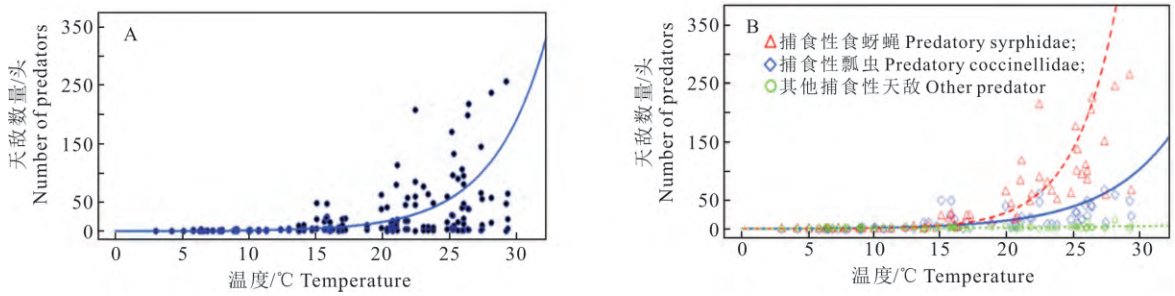


图 1　捕食性天敌昆虫数量与温度的关系

Fig. 1　Relationship between the number of predatory natural enemy insects and temperature

表 3　不同天敌类群负二项模型拟合结果

Table 3　Fitting results of negative binomial model for different natural enemy groups

类群 Class	对数计数期望值 Expected log count	标准误差 Standard error	Z 值 Z value	*P* 值 *P* value
捕食性天敌总体 Overall predatory natural enemies	0.246 92	0.014 56	16.953	<0.001
捕食性瓢虫 Predatory coccinellidae	0.195 40	0.019 26	10.144	<0.001
捕食性食蚜蝇 Predatory syrphidae	0.314 91	0.018 28	17.225	<0.001
其他捕食性天敌 Other predator	0.069 43	0.017 39	3.992	<0.001

2.3　捕食性天敌多样性分析

2.3.1　捕食性食蚜蝇科多样性分析　由图 2 可知，随着尺度参数 α 值的增大，捕食性食蚜蝇的 Rényi 多样性拟合曲线变化十分显著；在不同 α 值下，2020 年捕食性食蚜蝇类群的 Rényi 多样性均略高于 2019 年；而在 α 取值小于 0.25 时，2021 年捕食性食蚜蝇类群的 Rényi 多样性最低，α 值大于 0.25 时，2021 年捕食性食蚜蝇类群的 Rényi 多样性明显高于 2019 和 2020 年，也可能是因为 2021 年只有上半年的数据，未捕获到少数稀有种，导致分析结果有偏差。

由图 3 可知，2020 和 2021 年捕食性食蚜蝇物种组成基本相同，但均与 2019 年捕食性食蚜蝇物种组成存在一定差异。箱线图结果中 R 值为 0.556，超过了 0.5，说明不同年份捕食性食蚜蝇物种组存在显著差异（$P=0.001$）（图 3-A）。在非度量多维尺度分析图（图 3-B）中，2020 和 2021 年的图像基本重叠，且均与 2019 年存在部分分离，这可能是因为组内变异过大掩盖了组间差异，也有可能差异来源为少数物种。

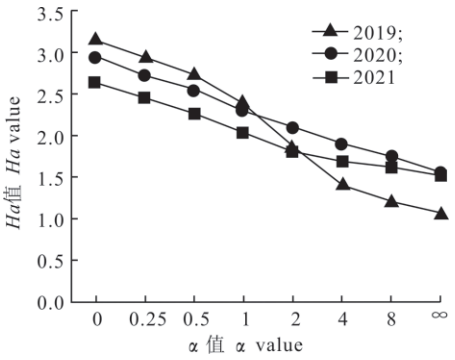


图 2　不同年份捕食性食蚜蝇科的 Rényi 多样性拟合曲线

Fig. 2　Rényi diversity fitting curves of Syrphidae in different years

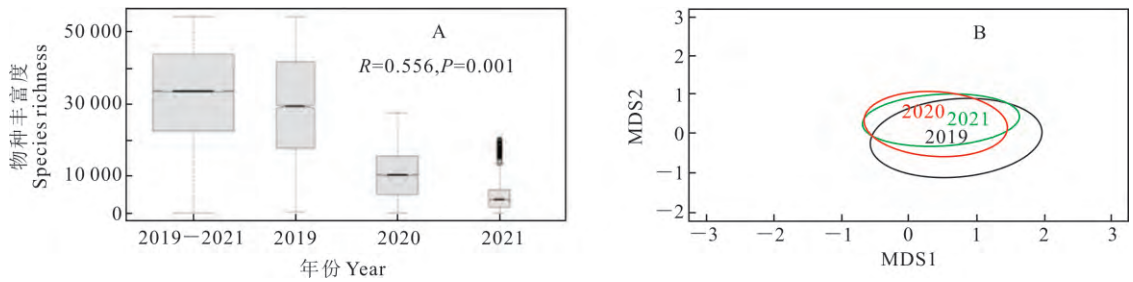


图 3　不同年份恩施捕食性食蚜蝇科物种组成差异的箱线图（A）和非度量多维尺度分析图（B）

Fig. 3　Box plot（A）and non-metric multidimensional scaling plot（B）on interannual variation in Syrphidae species composition of different years in Enshi

中国知网　https://www.cnki.net

2.3.2 捕食性瓢虫科多样性分析 由图4可知,恩施地区烟田2019—2021年捕食性瓢虫多样性变化并不显著,说明其群落较为稳定。在不同α值下,2020年捕食性瓢虫的多样性均高于2021年,而2019年捕食性瓢虫的多样性在α值小于1时大于另外两个年份,在α大于1时急剧下降到最低,说明2019年的样本中可能出现了某些稀有种,但优势种丰度较低。

由图5可知,恩施地区烟田2019—2021年捕食性瓢虫科的物种组成存在着显著的动态变化。其中2019年捕食性瓢虫科的物种组成最丰富,2020和2021年捕食性瓢虫科的物种组成较2019年有所缩减,但2020和2021年捕食性瓢虫科的物种组成高度相似。这可能与气候变化、生境破坏和农药用量增加等因素有关。

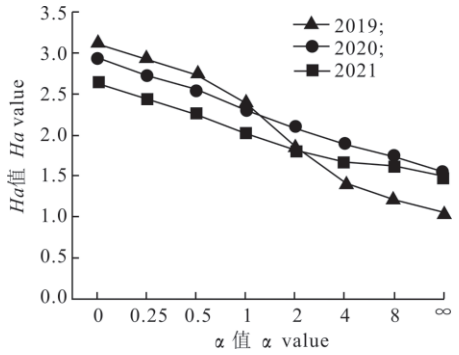


图4 不同年份捕食性瓢虫科的Rényi多样性拟合曲线

Fig. 4 Rényi diversity fitting curves of Coccinellidae in different years

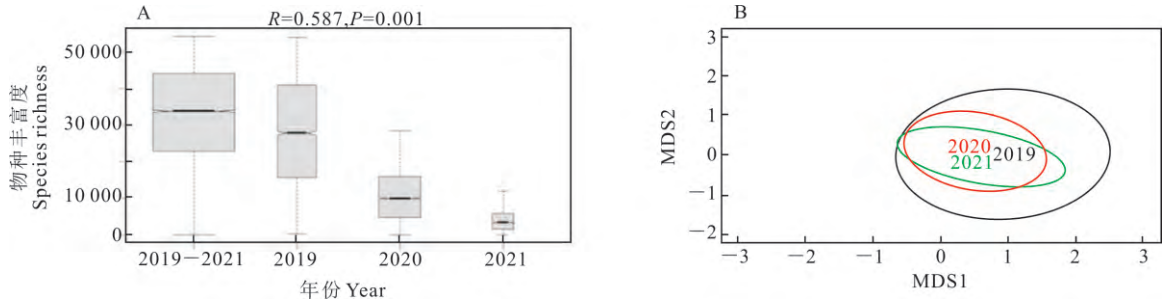


图5 不同年份恩施捕食性瓢虫科物种组成差异的箱线图(A)和非度量多维尺度分析图(B)

Fig. 5 Box plot(A) and non-metric multidimensional scaling plot(B) on interannual variation in Coccinellidae species composition of different years in Enshi

3 讨论与结论

本研究利用马来氏网在恩施烟田进行了连续30个月的定点监测,对采集到的昆虫标本进行种类鉴定,系统分析了恩施烟田2019—2021年间捕食性天敌昆虫的物种组成、发生动态及多样性变化。本研究发现,双翅目食蚜蝇科和鞘翅目瓢虫科在恩施烟田捕食性天敌中占据绝对优势,二者数量占比超过捕食性天敌总体数量的97%,这与国内多种同类调查研究结果[27-28]一致,表明食蚜蝇科和瓢虫科昆虫在多种农田生境中为优势天敌类群,且在烟草害虫防控中具有广泛的生态适应性。长翅细腹蚜蝇、龟纹瓢虫等分别成为食蚜蝇类和瓢虫类的优势种,这些优势种的确定为后续有针对性地开展生物防治提供了明确目标。然而,不同地区优势种的差异可能与当地气候、植被类型及害虫种类有关。例如,河南烟区主要害虫为烟蚜、烟青虫及细毛蜡[5],其优势天敌类群为草蛉和寄生蜂。恩施烟田主要害虫为半翅目叶蝉、异翅亚目植食性蝽类、鳞翅目及直翅目昆虫等。本次调查未监测到大量烟蚜,可能是马来氏网对蚜虫类昆虫的诱捕能力不强,且有翅蚜相对数量较少所致[29]。

在温度对捕食性天敌昆虫发生动态的影响方面,本研究证实了环境温度升高能够显著促进捕食性食蚜蝇、瓢虫及天敌总体数量的增加,且对不同天敌集团的影响存在显著差异,这与温度影响昆虫生长发育、繁殖和活动的基本理论相符。已有研究表明,温度通过影响昆虫体内酶活性、新陈代谢速率等生理过程,进而影响其种群动态[30]。相较于其他捕食性天敌,温度对瓢虫类和食蚜蝇类数量的正向影响更为显著,可能是由于这两类天敌在温度适应策略和生态位上具有独特性。比如食蚜蝇和瓢虫可能在适宜温度下具有更快的发育速率和更高的繁殖能力,导致其对温度变化更为敏感[31]。同时,温度与捕食性天敌类群具有显著交互作用,这提示在烟草害虫生物防治实践中,需充分考虑温度变化对天敌种群的影响,合理选择生物防治时机,以提高防控效果。

中国知网 https://www.cnki.net

在捕食性天敌多样性方面，本研究中捕食性食蚜蝇和捕食性瓢虫呈现出不同的多样性变化特征。2020年捕食性食蚜蝇多样性略高于2019年，当α值大于0.25时2021年捕食性食蚜蝇多样性显著高于前两年；2020－2021年捕食性食蚜蝇物种组成相近，且均与2019年差异显著。这种年度间的多样性变化和物种组成差异，可能与采样时间差异（2021年仅上半年数据）、气候变化以及害虫群落结构变化等因素相关。而2019－2021年捕食性瓢虫多样性变化较小，群落结构稳定，但2019年捕食性瓢虫多样性在α值小于1时较高，α值大于1时急剧下降，表明该年份存在稀有种但优势种丰度较低。2020－2021年捕食性瓢虫物种组成较2019年有所缩减但高度相似，这可能是由于2019年之后当地烟草种植模式调整、农药使用或生境变化，导致部分天敌物种组成和数量出现波动，天敌集团在田间的控害能力也存在一定的时空差异性[32-33]。

综上所述，恩施地区烟田节肢动物多样性丰富，捕食性食蚜蝇和捕食性瓢虫作为优势天敌类群，在自然控害方面具有巨大潜力。明确恩施地区烟田的优势天敌种类及其种群动态规律，对保护天敌昆虫资源以及发掘和利用其对目标害虫的控害能力具有重要意义。本研究通过对恩施烟田捕食性天敌昆虫的长期监测，补充了国内烟草害虫天敌资源研究的区域性数据，为烟草有害生物的绿色防控提供参考，同时为理解烟田生态系统稳定性和生物防治潜力提供了更可靠的依据。

[参考文献]

[1] 曾维爱，李密，谭琳，等．长沙烟区天敌昆虫物种多样性及其与主要害虫的消长动态[J]．中国烟草科学，2016，37(5)：63-67.
ZENG W A，LI M，TAN L，et al. Species diversity of natural enemy insects and population dynamic of main pest insects in Changsha tobacco areas[J]. Chinese Tobacco Science，2016，37(5)：63-67.

[2] 曾维爱，谭琳，李密，等．烟草害虫天敌昆虫产品化现状及其产业化发展对策探讨[J]．中国植保导刊，2017，37(3)：69-73.
ZENG W A，TAN L，LI M，et al. Discussion on the present situation of productization of natural enemies of tobacco pests and its industrialization development countermeasures [J]. China Plant Protection，2017，37(3)：69-73.

[3] GARIBALDI L A，GEMMILL-HERREN B，D'ANNOLFO R，et al. Farming approaches for greater biodiversity，livelihoods，and food security[J]. Trends in Ecology & Evolution，2017，32(1)：68-80.

[4] 戈峰，欧阳芳，赵紫华．基于服务功能的昆虫生态调控理论[J]．应用昆虫学报，2014，51(3)：597-605.
GE F，OUYANG F，ZHAO Z H. Ecological management of insects based on ecological services at a landscape scale[J]. Chinese Journal of Applied Entomology，2014，51(3)：597-605.

[5] 祝长青．烟草害虫天敌及其保护利用[J]．河南农林科技，1983，12(1)：13-16.
ZHU C Q. Natural enemies of tobacco pests and their protection and utilization [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences，1983，12(1)：13-16.

[6] 李照会，王念慈，郑方强，等．山东省烟草害虫天敌资源[J]．山东农业大学学报，1997，28(4)：391-400.
LI Z H，WANG N C，ZHENG F Q，et al. A list of natural enemies of tobacco pests in Shandong [J]. Journal of Shandong Agricultural University，1997，28(4)：391-400.

[7] 杨永辉，潘蓉英，佘春仁．福建省烟草害虫及其天敌资源的调查[J]．福建农业科技，2001，32(1)：6-7.
YANG Y H，PAN R Y，SHE C R. Investigation on tobacco pests and their natural enemies in Fujian Province [J]. Fujian Agricultural Science and Technology，2001，32(1)：6-7.

[8] 王兵万，杨全柳，张一扬．永州烟区烟草主要害虫的寄生性天敌资源调查[J]．湖南农业科学，2009(9)：80-83.
WANG B W，YANG Q L，ZHANG Y Y. Investigation on the resources of parasitic natural enemies for main tobacco pests in Yongzhou tobacco production zone[J]. Hunan Agricultural Sciences，2009(9)：80-83.

[9] 邱珂，张家韬，张强，等．陕西烟田蚜虫天敌昆虫种类调查[J]．甘肃农业科技，2017，48(10)：39-41.
QIU K，ZHANG J T，ZHANG Q，et al. Investigation on natural enemy insect species in Shaanxi area[J]. Gansu Agricultural Science and Technology，2017，48(10)：39-41.

[10] 母银林，龙婷婷，陈祥盛，等．烟田节肢动物群落结构及多样性分析[J]．生物资源，2022，44(3)：296-305.
MU Y L，LONG T T，CHEN X S，et al. Analysis on arthropod community structure and diversity in tobacco field [J]. Biotic Resources，2022，44(3)：296-305.

[11] TOWNE H. A light-weight malaise trap [J]. Entomological News，1972，83(9)：239-247.

[12] 马继盛，罗梅浩，郭线茹，等．中国烟草昆虫[M]．北京：科学出版社，2007.
MA J S，LUO M H，GUO X R，et al. Tobacco insects in China [M]. Beijing：Science Press，2007.

[13] 虞国跃，王合，冯术快．王家园昆虫：一个北京乡村的1 062种昆虫图集[M]．北京：科学出版社，2016.
YU G Y，WANG H，FENG S K. Insects of Wangjiayuan：1 062 insect species with color pictures from a village of Beijing [M]. Beijing：Science Press，2016.

[14] 张巍巍，李元胜．中国昆虫生态大图鉴[M]．2版．重庆：重庆大学出版社，2019.
ZHANG W W，LI Y S. Chinese insects illustrated [M]. 2nd ed. Chongqing：Chongqing University Press，2019.

[15] 郑乐怡，归鸿．昆虫分类[M]．南京：南京师范大学出版社，1999.

中国知网　https://www.cnki.net

ZHENG L Y, GUI H. Insect classification [M]. Nanjing: Nanjing Normal University Press, 1999.

[16] 虞国跃. 中国瓢虫亚科图志[M]. 北京:化学化工出版社, 2010.
YU G Y. Atlas of ladybug subfamily in China[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010.

[17] 中国科学院中国动物志委员会,吴厚永. 中国动物志:昆虫纲[M]. 北京:科学出版社, 2007.
Committee of Zoology of China, Chinese Academy of Sciences, WU H Y. Zoology of China: Entomophora[M]. Beijing: Science Press, 2007.

[18] 李兆华,李亚哲. 甘肃蚜蝇科图志[M]. 北京:中国展望出版社, 1990.
LI Z H, LI Y Z. Atlas of Aphididae in Gansu Province[M]. Beijing: China Prospect Press, 1990.

[19] 吴进才,胡国文,唐健,等. 稻田中性昆虫对群落食物网的调控作用[J]. 生态学报, 1994, 14(4): 381-386.
WU J C, HU G W, TANG J, et al. Studies on the regulation effect of neutral insect on the community food web in paddy field[J]. Acta Ecological Sinica, 1994, 14(4): 381-386.

[20] 郭玉杰,王念英,蒋金炜,等. 中性昆虫在稻田节肢动物群落中作为捕食者营养桥梁作用的研究[J]. 中国生物防治, 1995, 11(1): 5-9.
GUO Y J, WANG N Y, JIANG J W, et al. Ecological significance of neutral insects as nutrient bridge for predators in irrigated rice arthropod community[J]. Chinese Journal of Biological Control, 1995, 11(1): 5-9.

[21] 刘雨芳. 中国稻田昆虫群落多样性及生态调控功能研究进展[J]. 应用昆虫学报, 2019, 56(2): 183-194.
LIU Y F. A review of the diversity and ecological function of paddy field insect communities in China[J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2019, 56(2): 183-194.

[22] TILMAN D. The ecological consequences of changes in biodiversity: a search for general principles[J]. Ecology, 1999, 80(5): 1455-1474.

[23] NCDC. Global surface summary of day[EB/OL]. ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/noaa/isd-lite/, 2022.

[24] R Core Team. R: a language and environment for statistical computing[EB/OL]. https://www.R-project.org/.

[25] HILL M O. Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences[J]. Ecology, 1973, 54(2): 427-432.

[26] RÉNYI A. On measures of entropy and information[C] // Proceedings of the fourth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability, volume 1: contributions to the theory of statistics. Vol. 4. Oakland: University of California Press, 1961: 547-562.

[27] 胡坚,李天飞,邓建华,等. 云南烟草害虫天敌种类[J]. 云南农业大学学报, 2002, 17(3): 232-238.
HU J, LI T F, DENG J H, et al. Natural enemies' species of tobacco pests in Yunnan[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2002, 17(3): 232-238.

[28] 唐良德,赵海燕,郭灵杭. 海南北部蔬菜生境天敌瓢虫多样性研究[J]. 环境昆虫学报, 2023, 45(4): 1054-1062.
TANG L D, ZHAO H Y, GUO L H. Community structure and species diversity of predatory ladybeetles in vegetable crops in north Hainan[J]. Journal of Environmental Entomology, 2023, 45(4): 1054-1062.

[29] 吴琼,VAN ACHTERBERG C,陈学新. 昆虫诱集装置:马氏网的类型与使用[J]. 应用昆虫学报, 2016, 53(3): 660-667.
WU Q, VAN ACHTERBERG C, CHEN X X. An introduction to the types of Malaise traps and their application for collecting insects[J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2016, 53(3): 660-667.

[30] SUZAKI Y, OKADA K. Developmental characteristics of the seed bug *Graptostethus servus* (Hemiptera: Lygaeidae) at different temperatures[J]. Applied Entomology and Zoology, 2016, 51(4): 555-560.

[31] DIXON A F, JAROSÍK V, HONEK A. Thermal requirements for development and resource partitioning in phytophagous guilds[J]. European Journal of Entomology, 2005, 102(3): 407-411.

[32] WELCH K D, HARWOOD J D. Temporal dynamics of natural enemy-pest interactions in a changing environment[J]. Biological Control, 2014, 75: 18-27.

[33] ZHANG X Y, YANG L Y, CHEN C, et al. Dynamics of the natural enemy community of *Hyphantria cunea* (Lepidoptera: Erebidae) in Dandong, China [J]. Journal of Insect Science, 2023, 23(6): 8.

(责任编辑:陈丽)

中国知网 https://www.cnki.net