doi:10.3969/j.issn.1001-4616.2025.04.007

生物多样性和谱系多样性在农田生境昆虫多样性监测评价中的应用

——以江苏典型丘陵农田区域为例

徐宇飞[1],陈胜男[1],杨　历[1],吕琳娜[1],冯千凤[5],王爱国[6],
胡超超[1,4],郭　智[2,3],李　鹏[1,3],盛　婧[2,3]

(1.南京师范大学生命科学学院,江苏 南京 210023)
(2.江苏省农业科学院,农业资源与环境研究所,江苏 南京 210014)
(3.江苏省农业生物多样性培育与利用研究中心,江苏 南京 210014)
(4.南京师范大学分析测试中心,江苏 南京 210023)
(5.河南省焦作市自然保护区和野生动植物保护中心,河南 焦作 454000)
(6.河南省济源产城融合示范区林业资源管护监测中心,河南 济源 459000)

[**摘要**] 研究昆虫群落对农田生境类型的利用状况,有助于深入理解农田生境类型与昆虫群落动态演变的潜在关系,为农田作物健康种植与高质发展提供理论依据. 本研究于 2021 年 6 月—2024 年 10 月,采用样线法和样点法对江苏省镇江市戴庄村和常州市新康村农业耕种区的水稻田、菜地、果园、茶园生境中的昆虫多样性与群落波动变化进行监测调查. 利用昆虫群落多样性指数,包括丰富度、多度、香农威纳多样性指数、辛普森多样性指数以及均匀度指数来表征群落的物种多样性,以及利用谱系多样性阐明农业耕种区各种生境的昆虫群落多样性差异. 同时,基于多度加权的平均成对谱系距离(MPD)来表征群落的谱系结构,探究昆虫群落构建机制以理解昆虫群落的生态过程和动态变化,量化各多样性指标间的相关性. 物种丰富度在有机稻田最高,在常规菜地最低. 有机稻田、常规稻田、有机果园、常规果园、有机菜地、常规菜地、有机茶园、常规茶园的物种之间的亲缘关系比随机预期的更远,表现为群落发散,主要受到了种间竞争的作用;新康基地表现为群落聚集,主要受到了生境过滤的作用. 研究农田生境昆虫群落的多样性及生态因子有助于掌握生境类型与农田昆虫群落的关系,为更好地发展有机农业生产提供理论帮助.

[**关键词**] 昆虫多样性,谱系多样性,农田生境,有机农业生产
[**中图分类号**]Q96　[**文献标志码**]A　[**文章编号**]1001-4616(2025)04-0067-11

Application of Biodiversity and Pedigree Diversity in Monitoring and Evaluation of Insect Diversity in Farmland Habitats: A Case Study From Typical Hilly Farmland Area in Jiangsu Province

Xu Yufei[1], Chen Shengnan[1], Yang Li[1], Lyu Linna[1], Feng Qianfeng[5], Wang Aiguo[6],
Hu Chaochao[1,4], Guo Zhi[2,3], Li Peng[1,3], Sheng Jing[2,3]

(1.School of Life Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)
(2.Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)
(3.Jiangsu Agricultural Biodiversity Cultivation and Utilization Research Center, Nanjing 210014, China)
(4.Analytical and Testing Center, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)
(5.Nature Reserve and Wildlife Conservation Center of Jiaozuo City, Jiaozuo 454000, China)
(6.Forestry Resources Management and Monitoring Center of Jiyuan Industry-City Integration Demonstration Zone, Jiyuan 459000, China)

收稿日期:2025-01-20.
基金项目:江苏省农业生物多样性培育与利用研究中心委托研究项目(100605-2022-KY-00210,100605-2023-KY-00335).
通讯作者:盛婧,博士,研究员,研究方向:生态农业与生物多样性培育利用. E-mail:nkysj@ hotmail.com

Abstract: Studying the utilisation status of insect communities on farmland habitat types can help to deeply understand the potential relationship between farmland habitat types and the dynamic evolution of insect communities, and provide a theoretical basis for the healthy cultivation and high quality development of farmland crops. In this study, from June 2021 to October 2024, we monitored and investigated the changes of insect diversity and community fluctuations in the habitats of paddy fields, vegetable fields, orchards, and tea gardens in the agricultural cultivation areas of Daizhuang Village, Zhenjiang City, Jiangsu Province, and Xinkang Village, Changzhou City, Jiangsu Province, by using the sample line method and the sample point method. Insect community diversity indices, including richness, multiplicity, Shannon Wiener's diversity index, Simpson's diversity index, and evenness index, were used to characterise the species diversity of the communities, as well as spectral diversity to elucidate the differences in the diversity of insect communities in various habitats of the agricultural cultivation area. At the same time, the multivariate weighted mean pairwise pedigree distance (MPD) was used to characterise the community's pedigree structure, to explore the mechanisms of insect community construction to understand the ecological processes and dynamics of insect communities, and to quantify the correlation between the diversity indicators. Species richness was highest in organic rice fields and lowest in conventional vegetable fields. Species in organic paddy field, conventional paddy field, organic orchard, conventional orchard, organic vegetable field, conventional vegetable field, organic tea garden, and conventional tea garden were more distantly related to each other than randomly expected, and showed community dispersal, which was mainly affected by interspecific competition, while the Xinkang base showed community aggregation, which was mainly affected by habitat filtering. Studying the diversity and ecological factors of insect communities in farmland habitats can help to grasp the relationship between habitat types and insect communities in farmland, and provide theoretical help for better development of organic agricultural production.

Key words: insect diversity, genealogical diversity, farmland habitats, organic agricultural production

人类的生存和发展与昆虫息息相关,在农业发展过程中如果缺少昆虫提供的生态功能,就无法生产出人类所需要的农作物,昆虫的营养循环、种子传播、授粉和害虫防治等功能在农业发展过程中起着巨大的作用,但如今农业领域面临的一项重要挑战是病虫害制约了粮食的可持续安全生产[1]. 农田生境作为农业发展的重要组成,因而对于农田昆虫的监测是防治害虫和提高农作物产量不可或缺的一步[2]. 农业的重要性体现在对于大多数发展中国家来说,它依旧是国家经济发展的一个关键支柱[3]. 农业用地是人类活动的重要基础,其包括独特的生物多样性[4]. 农业生物多样性是可持续和更有保障的粮食供应的重要组成部分[5],它是维持农业本身和整个环境所需的生态系统服务的基础[6]. 而病虫害的出现影响了农作物的生长发育并造成了严重的经济损失[7]. 为了消除害虫对农作物产量的影响,传统的农业种植方式是依靠大量的化学肥料和农药来杀灭害虫,但是持续和不明智地使用农用化学品会破坏农业环境和生物多样性[8-9]. 因而在农业种植过程中诞生了有机农业的模式. 有机农业包括一套旨在实现有机生产的管理实践来维持土壤肥力[10]. 其最显著的好处是环境保护和对环境变化的更大适应性. 而农民对可持续农业生产的行为是减少农业对环境负面影响和保护生物多样性的关键因素[11]. 有机农业对于害虫的防治会引入天敌昆虫,天敌昆虫捕食害虫,从而减少了害虫数量以保护农作物,维持生态平衡并促进经济发展[12]. 而作为全球生态体系的关键组成部分,农业生态系统对于维护粮食生产体系的稳固及实现农业的可持续性发展具有显著影响[13]. 农业生态系统具有强大的生态系统和社会服务功能. 在农业生态系统中,良好的生物多样性可以有效地防止病虫害暴发,并能积极促进农作物产量提升[14]. 通过研究和保护农业生物多样性,尤其是昆虫多样性,可以提高农业生态系统的韧性,支持粮食供应和生态平衡的可持续发展.

因而开展农田生境昆虫多样性监测研究,利用天敌昆虫保护农作物免受病虫害侵害以满足日益增长的世界人口粮食需求是全球面临的一项重要课题. 2021 年 6 月—2024 年 10 月,本研究运用了样线法和样点法等技术手段,对江苏省镇江市戴庄村和常州市新康村的农业种植区域进行生物多样性调查与生态监测. 调查对象涵盖了水稻田、菜地、果园和茶园这些关键生态环境,了解农田生境不同耕作方式对昆虫多样性及生态系统稳定性的影响. 本研究对不同耕作模式下农田生境的昆虫群落生物多样性进行比较分析,包括分析物种的多样性和基于进化历史的谱系多样性,昆虫群落的系统发育构造,并评估了多样性指标之间的相关性. 此外,本研究还对调查中采集的昆虫样本的线粒体细胞色素氧化酶 I 亚基(mitochondria cytochrome oxidase subunit I, COI)基因序列进行了扩增,建立了江苏典型农田生境昆虫物种的 DNA 条形

码(DNA Barcoding)数据库,研究结果为构建江苏典型农田生境昆虫多样性评价指标体系并发展基于害虫高效防控的天敌多样性构建技术体系提供了基础资料. 研究结果可望为区域农业生态系统中生物多样性的保护与利用提供理论支撑.

1 材料与方法

1.1 研究区域概况及栖息地现状

戴庄村坐落于江苏省镇江市句容天王镇,其有机农业区域是“江苏省句容茅山有机农业示范区”的一部分,有着水田 4 000 多亩,岗坡旱地 8 000 亩,农田资源丰富. 经度为 119.164 82°E,纬度为 31.955 91°N.

新康村,隶属于江苏省常州市武进区的雪堰镇,享有得天独厚的地理优势. 该村东临烟波浩渺的太湖,南面与锡宜公路相连,西面紧临常漕公路,而北面则依傍着太滆运河. 新康村的总面积约为 5.16 km^2,拥有超过 3 198 亩的可耕种土地. 经度为 119.942 44°E,纬度为 31.700 86°N.

1.2 样点样线设置及昆虫调查方法

研究使用分层随机抽样设计,调查范围为江苏省镇江市句容天王镇戴庄村(图 1)和常州市武进区雪堰镇新康村(图 2)的有机农业区域和常规传统农业区域.

句容戴庄村调查样地根据耕作模式和生境类型划分为 8 个样点,分别为有机稻田、常规稻田、有机果园、常规果园、有机菜地、常规菜地、有机茶园、常规茶园,新康村农业基地作为传统农业耕种区整体为一个样方.

2021 年 6 月—2024 年 10 月,戴庄村昆虫多样性调查于 2021 年 6 月和 11 月,2022 年 11 月,2023 年 4 月、5 月和 8 月,2024 年 1 月、4 月、6 月和 10 月共调查 10 次. 新康村昆虫多样性调查于 2023 年 4 月、5 月和 8 月,2024 年 4 月、6 月和 10 月共调查 6 次. 白天采用样线法调查和拍照记录、网捕法采集和黄盘诱集,晚上结合样线法调查和陷阱法采集. 另外再通过在主要生境中架设马氏网诱集,收集马氏网中诱集到的昆虫和陷阱及黄盘中诱集到的昆虫. 调查过程中记录昆虫的种类、数量、生境类型等信息,并对非重点保护昆虫物种各采集少量样本带回实验室进行 COI 序列扩增.

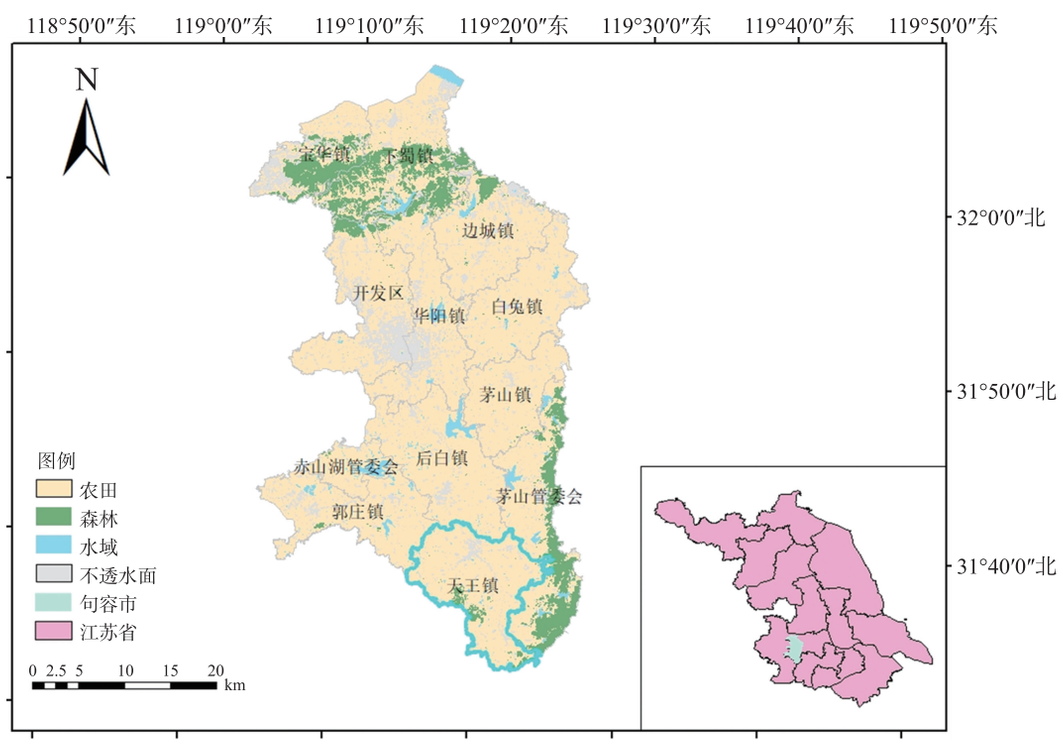


图 1 戴庄村昆虫多样性监测地点图

Fig. 1 Map of insect diversity monitoring sites in Daizhuang Village

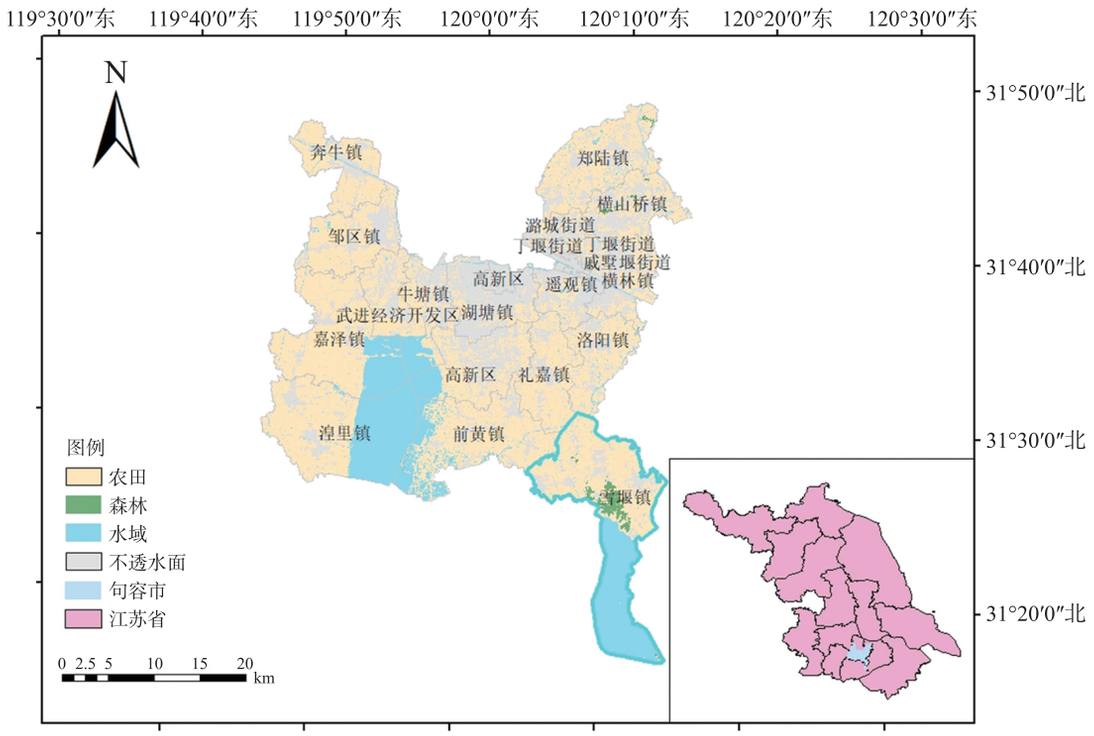


图 2　新康村昆虫多样性监测地点图

Fig. 2　Map of insect diversity monitoring sites in Xinkang Village

1.3　物种积累曲线

物种积累曲线(SAC)作为一种关键工具,用于衡量和预测特定区域内物种丰富度的增长,是评估生物多样性和估计物种多样性的关键指标[15]. 本文采用物种积累曲线对调查区域的昆虫生态学进行全面评价.

1.4　优势种和指示种分析

昆虫优势种的确定按照鸟类优势种确定的方法,物种的分类标准如下:出现的相对数量比例低于 0.1%的被定义为罕见种,0.1%~1%的为稀有种,1%~10%的归类为常见种,而超过 10%的则被标记为优势种[16]. 指示种是一种对环境改变非常敏感的种类,经常被用来监控环境的改变和治理效果,它在一个具体地区的丰富程度可以反映出具体的环境情况[17].

1.5　多样性指数计算

在研究群落的物种多样性时,采用了几种关键的指数来衡量. 包括香农-威纳(Shannon-Wiener)多样性指数,它考虑了物种的丰富度和均匀度;辛普森(Simpson)多样性指数,它评估了物种的丰富度和优势度;以及 Pielou 均匀度指数,它衡量了物种分布的均匀性. 谱系多样性这一概念最早由 Faith 提出,它与传统的物种多样性指数不同,它不仅考虑了物种的数量,还整合了物种的进化历史信息以考虑物种之间进化或系统发育上的差异[18]. 为了探索谱系多样性,本研究构建了调查记录的昆虫物种系统进化树,并运用 Faith' PD 指数来量化物种间的总分支长度,以期进一步了解调查区域内昆虫物种的进化关系和多样性.

1.6　群落的谱系结构

本研究以调查过程中发现和捕获的所有昆虫构建昆虫物种库,从 NCBI(https://www.ncbi.nlm.nih.gov)数据库下载构建昆虫系统发育树所需的细胞色素 C 氧化酶 I 亚基(COI)基因序列. 利用 MEGA 11.0 软件中的 Clustal W 模块对基因序列进行比对,在实验室的服务器中使用最大似然法(maximum likelihood, ML)进行 1 000 次重复抽样检验构建昆虫的系统发育树.

根据构建的昆虫系统发育树,利用多度加权的平均成对谱系距离(mean pairwise phylogenetic distance, MPD)及最近种间谱系距离(mean nearest taxon distance, MNTD)表征群落的谱系结构. 在此基础上利用多度加权的平均成对谱系距离(MPD)和最近种间谱系距离(MNTD)的平均值和标准差与实际观察的昆虫群落的对比计算出对应的标准化效应值(standard effect size, SES),以此来判断影响昆虫群落功能构建的

生态过程,公式为:SES.MPD 或 SES.PD.MNTD=$\frac{\text{Obs-mean(null)}}{\text{SD(null)}}$[16,18]. 若标准化效应值低于随机值(SES<0),物种之间的谱系距离比预期的近,表明群落的谱系结构趋向于由亲缘关系较近的物种组成,生境过滤驱动着群落谱系的聚集;若标准化效应值高于随机值(SES>0),物种之间的谱系距离比预期的远,表明群落的谱系结构趋向于由亲缘关系较远的物种组成,则表明种间竞争驱动着群落谱系的发散[19].

1.7 昆虫线粒体细胞色素 C 氧化酶 I 亚基(COI)序列的扩增

对调查过程中捕获的昆虫样本带回实验室进行鉴定和 DNA 的提取,使用正向引物 LCO1490:5′-GGTCAACAAATCATAAAGATATTGG-3′ 和反向引物 HCO2198:5′-TAAACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA-3′ 进行各昆虫样本 COI 序列的扩增[20]. 完成 PCR 扩增后,通过凝胶电泳进行检测,将扩增成功的样本送往生工生物工程(上海)股份有限公司及擎科生物公司进行序列测定. 测序结果在 NCBI 网站上执行双向 BLAST 比对后,将比对结果与物种的形态学鉴定结果进行比对,以验证其一致性. 根据比对后的结果对昆虫 COI 序列进行收集整理,创建调查区域的昆虫 DNA Barcoding 数据库.

1.8 环境 DNA 检测

在进行样线法和样点法的调查过程中,在常规菜地、常规茶园、有机菜地、有机稻田以及新康基地采集了对应的水样,采集的水样带回实验室,利用水样过滤系统提取其水样中的环境 DNA,交予上海美吉生物医药科技有限公司进行昆虫环境 DNA 检测,检测各水样中含有的昆虫种类.

1.9 统计分析

调查结果的计算与统计使用 R-4.3.3 软件进行. 本研究以 9 个取样点为研究对象,累计调查 27 次,共收集记录 1 291 条,共计昆虫物种 301 种. 应用 labdsv 包中的 Indval 函数来确定昆虫的指示物种. 物种多样性的计算是通过 vegan 包中的 diversity 函数完成的,谱系多样性的分析则依赖于 picante 包中的 sespd、sesmpd 和 sesmntd 函数,皮尔森相关性的分析使用 corrplot、ggcorrplot、psych、vcd 包.

2 结果与分析

2.1 群落组成与数量

通过本研究的监测记录,在戴庄村有机稻田、常规稻田、有机菜地、常规菜地、有机果园、常规果园、有机茶园、常规茶园以及新康村中监测到的昆虫目科属种数的详细情况记录于表 1. 通过对样本中物种积累曲线的分析,发现样本中的物种丰富度已经趋近于渐近线,说明所进行的调查资料具有高度的完整性,完全满足了分析的数据量要求(图 3).

表 1 戴庄村和新康村昆虫群落组成

Table 1 The insect communities of Daizhuang Village and Xinkang Village were composed

昆虫纲	目	科	属	种
有机稻田	11	69	137	145
常规稻田	8	32	44	45
有机菜地	7	54	89	95
常规菜地	7	26	32	32
有机果园	9	42	55	57
常规果园	8	25	31	33
有机茶园	8	40	52	54
常规茶园	8	32	42	44
新康基地	9	57	109	118

调查区域内有机种植区域昆虫多样性一般要高于常规种植区域,且有机种植区域益害比较高,而常规种植区域存在一定比例的害虫种类,特别是某些害虫种群数量明显偏高. 有机稻田具有最高的益害比(0.541 096)(表 2),常规菜地具有最低的益害比(0.343 75)(表 2). 调查区域内农田害虫危害较重的有稻棘缘蝽(*Cletus punctiger*)、莴苣指管蚜(*Uroleucon formosanum*)、中华稻蝗(*Oxya chinensis*)、飞虱(*Homoptera* sp.)、花胫绿纹蝗(*Aiolopus tamulus*)、甜菜白带野螟(*Euproctis karapina*)、菜螟(*Hellula undalis*)、麻皮蝽(*Erthesina fullo*)、甘薯台龟甲(*Cassida circumdata*)、小长蝽(*Nysius ericae*)、粉虱(Aleyrodidae sp.)等.

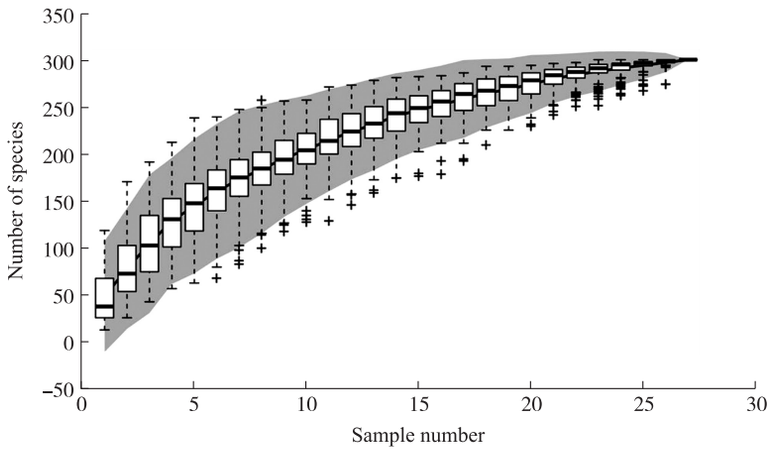


图 3　基于抽样次数的物种积累曲线

Fig. 3　Species cumulative curves based on number of samples

表 2　戴庄村和新康村昆虫组成及益害比

Table 2　Insect composition and benefit-harm ratio in Daizhuang and Xinkang Villages

样地	物种组成	益虫	害虫	益害比	益虫/害虫
有机稻田	11 目 69 科 137 属 145 种	79	67	0.541 096	1.179 104
常规稻田	8 目 32 科 44 属 45 种	22	23	0.488 889	0.956 522
有机菜地	7 目 54 科 89 属 95 种	44	51	0.463 158	0.862 745
常规菜地	7 目 26 科 32 属 32 种	11	21	0.343 750	0.523 810
有机果园	9 目 42 科 55 属 57 种	25	32	0.438 596	0.781 250
常规果园	8 目 25 科 31 属 33 种	16	17	0.484 848	0.941 176
有机茶园	8 目 40 科 52 属 54 种	26	28	0.481 481	0.928 571
常规茶园	8 目 32 科 42 属 44 种	20	24	0.454 545	0.833 333
新康农田区	9 目 57 科 109 属 118 种	62	56	0.525 424	1.107 143

2.2　昆虫群落指示种分析

在戴庄村和新康村农业基地所调查的 9 个样地中,可分为有机农业样地(有机稻田、有机菜地、有机果园、有机茶园)和常规传统农业样地(常规稻田、常规菜地、常规果园、常规茶园、新康基地),有 3 种昆虫(福建婪步甲、黑狭扇螳、墨胸胡蜂)是有机农业样地生境显著相关的指示物种(表 3),常规农业样地缺乏具有显著指示值的物种. 调查结果显示黑狭扇螳物种数量较大.

表 3　基于 IndVal 的指示种分析

Table 3　Indicator species analysis based on IndVal

生境	物种	IndVal 值	个体数
有机样地	福建婪步甲	0.814 *	7
有机样地	黑狭扇螳	0.750 *	37
有机样地	墨胸胡蜂	0.750 *	7

注: * P<0.05, ** P<0.01, *** P<0.001.

2.3　生境类型对昆虫群落多样性的影响

在所调查的 9 种生境中,有机稻田和新康基地的物种丰富度是较高的,而常规果园和常规菜地的物种丰富度是较低的;香农威纳指数在有机稻田最高,在有机茶园最低,辛普森指数在有机菜地最高,而在有机茶园是最低的(虽然有机茶园的物种丰富度较好,但物种均匀度较差),所有生境的香农威纳指数与辛普森指数呈现出相似的变化规律;在 Pielou 均匀度指数中,常规稻田、常规茶园和有机菜地的均匀度较高,有机茶园最低(表 4).

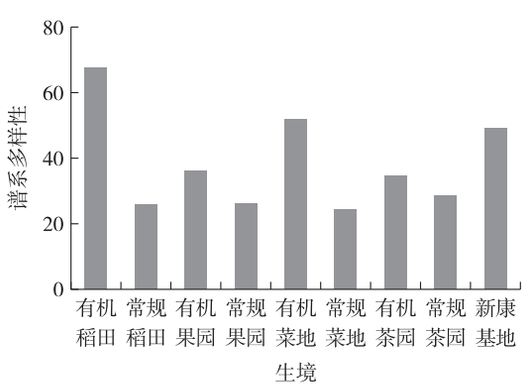


图 4　9 种生境的谱系多样性

Fig. 4　Phylogenetic diversity of nine habitats

谱系多样性在有机稻田最高,与有机稻田昆虫丰富度高有一定的关联性,昆虫丰富度高意味着可能有更多的进化分支在系统发育树上,但如果昆虫之间的亲缘关系非常接近,即昆虫在进化树上的位置非常接近,即使昆虫数量高,谱系多样性也不一定高. 平均成对谱系距离的标准化效应值说明新康基地表现为群落聚集,说明环境过滤在群落构建中起到了关键作用,使得亲缘关系较近的物种更容易在群落中生存,其他 8 种生境表现为群落发散,主要受到的是种间竞争的作用. 最值得注意的是常规稻田,常规稻田的平均成对谱系距离的标准化效应值大于 0,而最近种间平均距离的标准化效应值小于 0,这种看似矛盾的现象可能反映了群落构建过程中复杂的生态动态,其中环境过滤和竞争排斥可能在不同尺度上发挥作用.

表 4　戴庄村和新康村昆虫多样性分析

Table 4　Analyses of insect diversity in Daizhuang and Xinkang Villages

调查样地	香农威纳多样性指数	辛普森多样性指数	Pielou 均匀度指数
常规菜地	2.189 620	0.816 236	0.631 791
常规茶园	2.692 270	0.877 252	0.707 252
常规稻田	2.771 937	0.870 334	0.728 180
常规果园	2.199 254	0.733 271	0.618 576
新康基地	2.717 139	0.875 560	0.568 543
有机菜地	3.203 261	0.931 034	0.703 414
有机茶园	1.821 224	0.675 885	0.454 473
有机稻田	3.407 637	0.918 127	0.683 769
有机果园	2.251 480	0.794 972	0.554 491

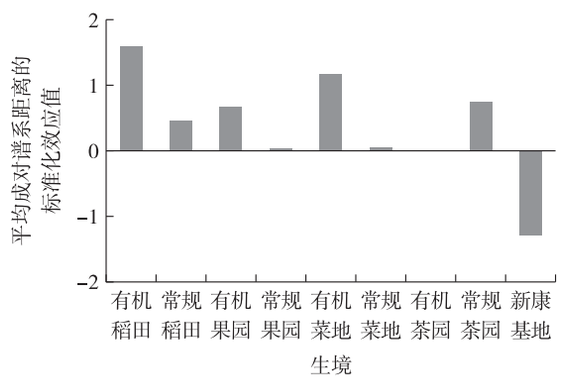


图 5　9 种生境的平均成对谱系距离的标准化效应值

Fig. 5　Standardised effect values for mean pairwise genealogical distance for nine habitats

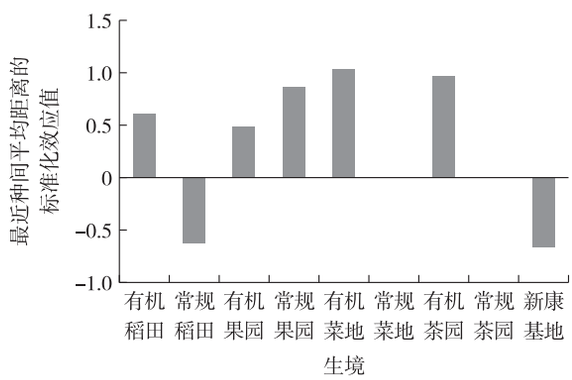


图 6　9 种生境的最近种间谱系距离的标准化效应值

Fig. 6　Standardised effect values for nearest interspecific genealogical distance for nine habitats

2.4　有机样地和常规样地昆虫多样性比较

将戴庄村的有机稻田、有机果园、有机菜地、有机茶园归为有机样地,将常规稻田、常规果园、常规菜地、常规茶园归为常规样地,重点比较戴庄村有机区域和常规区域的不同. 有机样地的香农威纳多样性指数、辛普森多样性指数和 Pielou 均匀度指数均优于常规样地. 有机样地的平均成对谱系距离的标准化效应值和最近种间谱系距离的标准化效应值大于 0,常规样地的平均成对谱系距离和最近种间谱系距离的标准化效应值小于 0(表 5).

表 5　有机样地和常规样地昆虫多样性分析

Table 5　Analysis of insect diversity in organic and traditional sample plots

调查样地	香农威纳多样性指数	辛普森多样性指数	Pielou 均匀度指数
有机样地	3.781 30	0.958 37	0.696 46
常规样地	3.118 38	0.915 85	0.668 69

2.5　有机样地和常规样地不同指数之间的相关性分析

在相关性分析方面,如上同样分为有机样地和常规样地. 可以发现有机样地与常规样地相关指数呈

现出相似的变化规律,香农威纳指数与辛普森指数、均匀度指数、谱系多样性指数、多度加权的平均成对谱系距离呈现正相关,与最近种间距离呈现负相关的关系.

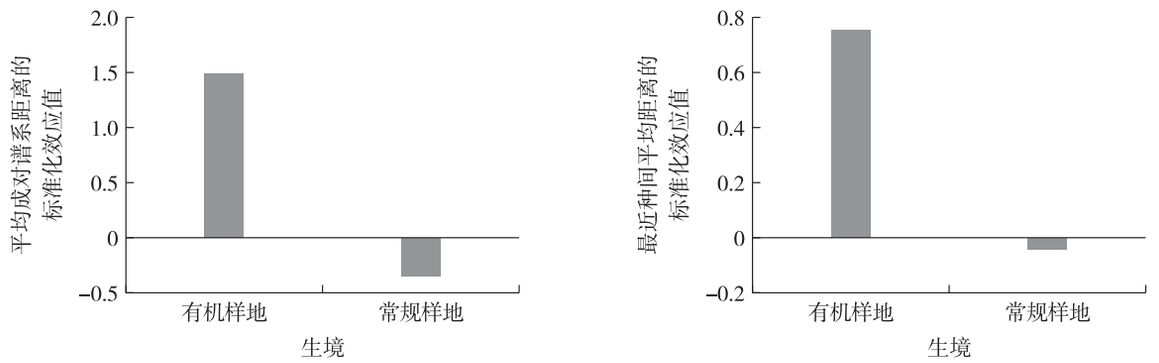
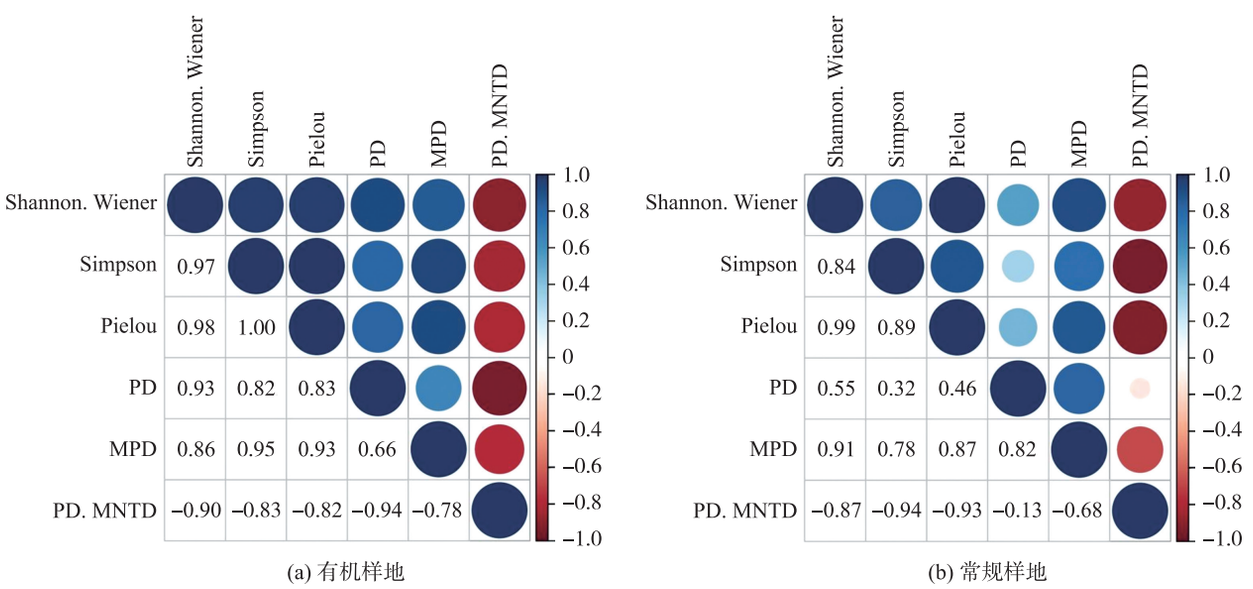


图 7　有机样地和常规样地的平均成对谱系距离的标准化效应值(左图)、有机样地和常规样地的最近种间谱系距离的标准化效应值(右图)

Fig. 7　Standardised effect values for mean pairwise genealogical distance between organic and traditional fields(left panel), standardised effect values for nearest interspecific genealogical distance between organic and traditional fields(right panel)



(a) 有机样地　　(b) 常规样地

Shannon.Wiener:香农威纳多样性指数;Simpson:辛普森多样性指数;Pielou:均匀度指数;PD:谱系多样性指数;MPD:多度加权的平均成对谱系距离;PD.MNTD:多度加权的平均成对谱系距离.

图 8　有机样地和常规样地的皮尔森相关系数图

Fig. 8　Plot of Pearson's correlation coefficients for organic and traditional samples

2.6　昆虫 DNA 数据库的构建

测序得到的昆虫 COI 序列在 NCBI 上进行 Nucleotide BLAST 比对所获得的结果与形态鉴定结果基本相符,双向验证了扩增结果和鉴定结果的准确性. 已成功扩增出常见鞘翅目昆虫异色瓢虫(*Harmonia axyridis*)、七星瓢虫(*Coccinella septempunctata*)、二十八星瓢虫(*Henosepilachna vigintioctopunctata*)等,常见鳞翅目昆虫黄尖襟粉蝶(*Anthocharis scolymus*)、红灰蝶(*Lycaena phlaeas*)、青凤蝶(*Graphium sarpedon*)等以及其他目如半翅目、膜翅目、双翅目等各类昆虫共计 89 种,初步建立了江苏典型农田生境昆虫 DNA Barcoding 数据库.

2.7　环境 DNA 的检测结果

利用环境 DNA 检测技术,在所取水样当中共检测到了 370 种昆虫,在所调查 6 个样方的水样中,蝇蚋(*Simulium tani*)在 5 种水样中(除有机菜地)都进入了物种丰度前 3 名,此物种虽然没有在样线调查过程中被拍摄记录到,但环境 DNA 检测结果(表 6)提示其大量存在于调查区域的各水体环境中.

表 6　物种鉴定结果表(仅展示不同样点物种丰度前 3 名的物种)

Table 6　Table of species identification results(only the top 3 species in terms of abundance of species at different sites are shown)

样品名	物种分类名	读段比例	样品名	物种分类名	读段比例
CGCD	*Simulium tani*	0.2704	CGCY	*Argynnis paphia*	0.2772
CGCD	*Dryops algiricus*	0.1158	CGCY	*Simulium tani*	0.1885
CGCD	*Chrysoteuchia culmella*	0.0560	CGCY	*Culex quinquefasciatus*	0.0488
CGDT	*Simulium tani*	0.2980	XK	*Simulium tani*	0.3186
CGDT	*Cymothoe herminia*	0.1149	XK	*Dryops algiricus*	0.1283
CGDT	*Culex quinquefasciatus*	0.0518	XK	*Blaberus craniifer*	0.0647
YJCD	*Drosophila obscura*	0.1782	YJDT	*Dryops algiricus*	0.3012
YJCD	*Dryops algiricus*	0.1725	YJDT	*Simulium tani*	0.0930
YJCD	*Argynnis paphia*	0.1316	YJDT	*Atethmia centrago*	0.0488

读段比例:即在样本中被鉴定为特定物种的 reads 数量占总 reads 数量的比例. CGCD:常规菜地;CGCY:常规茶园;CGDT:常规稻田;XK:新康基地;YJCD:有机菜地;YJDT:有机稻田.

3　讨论

江苏省镇江市戴庄村和常州市新康村都是江苏省典型的丘陵农田种植区域,农业的发展对于当地人民生活水平的提高和当地生态环境的发展变化有着很重要的作用. 本研究通过分析戴庄村和新康村的有机农业区域和常规传统农业区域昆虫的物种多样性和谱系多样性来探讨农田生境昆虫群落对生境类型的利用状况. 在研究中发现昆虫群落的物种多样性在有机种植区域要优于常规传统农业区域[21],有机种植区域不使用除草剂和矿物肥料,减少了农药对昆虫的直接和间接伤害,且采用作物轮种方式,增加了植物的多样性并为昆虫提供食物来源和栖息地[22]. 同时有机种植区域的天敌昆虫数量较高,天敌昆虫的存在不仅有助于控制害虫,还增加了昆虫的物种多样性[23]. 新康基地虽然作为常规传统农业区域,但相比之下其物种多样性较高可能是由于新康基地调查面积相对较大,且基地周边零星分布有居民自家种植的品种多样的小块有机菜地、果树和绿化花圃区域,这些区域是昆虫物种繁育与生存的重要生境,所以在新康基地调查到的昆虫种类和数量相对较多. 有机茶园的香农威纳指数和辛普森多样性指数小于常规茶园,其原因是有机茶园的均匀度较差,调查发现中华小家蚁(*Monomorium chinense*)和黑翅土白蚁(*Odontotermes formosanus*)的数量远远高于其他物种. 戴庄的有机稻田是具有代表性的有机农业区域,所调查到的昆虫种类数最多,有 145 种. 有机稻田的香农威纳指数为 3.407637,均匀度指数为 0.683769. 有机稻田的种植区域广泛,其昆虫物种多样性更显丰富. 戴庄村和新康村调查记录的昆虫大多数种类为华东地区广布种,各类昆虫未见国家濒危保护种类. 多数种类在中国生物多样性红色名录中均是未予评估的. 广布种包括遍及古北、东洋、新北(界)有分布的日本弓背蚁(*Camponotus japonicus*)、中国广布的疣蝗(*Trilophidia annulata*)、短额负蝗(*Atractomorpha sinensis*)、黑带食蚜蝇(*Epistrophe balteata*)、异色瓢虫(*Harmonia axyridis*)与七星瓢虫(*Coccinella septempunctata*)[24-28]等. 昆虫的物种丰富度在有机稻田最高,在常规菜地最低.

调查发现有机种植区域的益害比要大于常规种植区域,有机稻田具有最高的益害比(0.541096),常规菜地具有最低的益害比(0.34375),较高的益害比说明天敌昆虫种类和数量较多,农业区域内呈现出更高的天敌生物控害水平,可以更有效地对害虫产生抑制作用,提高益害比能够降低农药的使用频率,减少对环境的污染并提高生态稳定性. 相比于常规种植区域,有机种植区域昆虫益害比更高,在一定程度上说明了有机种植区域的生态环境要更加协调稳定[29].

谱系多样性是刻画群落结构、构建过程及特性的重要手段[16]. 平均成对谱系距离(MPD)指数用于估计聚类树上所有成对分类单元之间的平均谱系距离[30]. 本研究显示,谱系多样性与该样地所调查得到的物种数在一定程度上具有正相关的关系,即有机种植区域的谱系多样性在一定程度上要优于常规传统农业区域,这与物种数越多、增加群落中亲缘关系较远的物种概率越大,因而导致谱系多样性越高. 在本研究中所调查的 9 种生境类型对于昆虫群落具有显著性的影响. 由平均成对谱系距离的标准化效应值(SES MPD)分析表明,由于主要受到竞争排斥的作用,有机稻田、常规稻田、有机果园、常规果园、有机菜地、常规菜地、有机茶园、常规茶园的物种表现为群落发散(SES MPD>0),新康基地主要受到生境过滤的作用,

表现为群落聚集(SES MPD<0)[16]. 群落发散表现为昆虫之间的亲缘关系较远,意味着它们在生态功能上具有一定的互补性,这在某些情况下可以提高生态系统的稳定性,但是生境的稳定性需要综合考虑多种生态学指标和环境因素.

通过有机种植区域与常规传统农业区域的对比可以发现在昆虫物种多样性以及益害虫的对比上,基本均是有机种植区域占据优势,有机种植区域具有更稳定的生态性能,这与常规种植区域使用化学农肥农药等过程有关[31]. 害虫对于农田的危害是多方面的,会直接损害农作物影响农产品质量,加剧农业的损失. 而常规种植区域使用农药化肥对于害虫的防治在短时间内具有一定的效果,但同时带来的是化肥农药的残留对于人类的危害. 因而从常规传统农业慢慢地转向成有机农业是必要的,有机农业是一种注重生态平衡和可持续性的农业生产方式.

同时在调查过程中释放多种寄生蜂(稻螟赤眼蜂 *Trichogramma japonicum*、玉米螟赤眼蜂 *Trichogramma ostriniae*、白蛾周氏啮小蜂 *Chouioia cunea*)以观察寄生蜂对当地生物多样性与农田生态环境的影响,以期通过增加天敌昆虫起到农区害虫控制和维持生态平衡的作用[32-33],但释放的寄生蜂发挥哪些生态效能及如何影响调查农业区域的生物量仍需要未来持续监测与深入研究.

4　结论

目前对句容戴庄和新康基地农业区域的昆虫多样性调查研究,初步摸清了农田生境的昆虫多样性动态变化及分布格局等本地信息,分析了不同土地利用方式和技术模式下农田生境的昆虫多样性,并初步探究了天敌多样性与害虫防控关系,有助于理解江苏典型农田生境类型与昆虫群落的关系,更好地为江苏典型农田生境发展生物多样性农业生产提供理论支撑.

致谢:感谢江苏省镇江市农业科学研究所赵亚夫研究员和句容市天王镇杨豪提供调查协助.

[参考文献]

[1] JANKKIELSOHN A. The importance of insects in agricultural ecosystems[J]. Advances in entomology,2018,6(2):62-73.

[2] 刘淑涵,高超,宋雨萍,等. 胜山保护区害虫多样性调查与防治[J/OL]. 林业科技通讯,1-7[2025-04-16]. https://link.cnki.net/doi/10.13456/j.cnki.lykt.2025.03.12.0006.

[3] BEHERA K K,ALAM A,VATS S,et al. Organic farming history and techniques[J]. Agroecology and strategies for climate change,2012:287-328.

[4] CLERGUE B,AMIAUD B,PERVANCHON F,et al. Biodiversity:function and assessment in agricultural areas. A review[J]. Agronomy for sustainable development,2005,25(1):1-15.

[5] FRISON E A,CHERFAS J,HODGKIN T. Agricultural biodiversity is essential for a sustainable improvement in food and nutrition security[J]. Sustainability,2011,3(1):238-253.

[6] KAZEMI H,KLUG H,KAMKAR B. New services and roles of biodiversity in modern agroecosystems:A review[J]. Ecological indicators,2018,93:1126-1135.

[7] 梁海霞,梁海丽. 农业种植中常见病虫害的发生与防治[J]. 农业开发与装备,2024(12):177-179.

[8] 孙星星,陈永成,姜勇,等. 国内外天敌昆虫产业化研究进展[J]. 现代农业科技,2025(2):85-88.

[9] DURÁN-LARA E F,VALDERRAMA A,MARICAN A. Natural organic compounds for application in organic farming[J]. Agriculture,2020,10(2):41.

[10] LEIFELD J. How sustainable is organic farming? [J]. Agriculture,ecosystems & environment,2012,150:121-122.

[11] JOUZI Z,AZADI H,TAHERI F,et al. Organic farming and small-scale farmers:main opportunities and challenges[J]. Ecological economics,2017:132144-132154.

[12] 杨楠. 天敌昆虫在林业有害生物防治中的应用[J]. 现代园艺,2024,47(10):59-60.

[13] 廖美哲,张宗文,白可喻. 中国农业生态系统多样性保护研究现状与展望[J]. 生物多样性,2023,31(7):166-181.

[14] 宋英杰,龙春林. 农业生物多样性研究进展:可持续农业背景下的功能、评价、管理和保护[J]. 中国农学通报,2023,39(24):69-76.

[15] COLWELL R K,MAO C X,CHANG J. Interpolating,extrapolating,and comparing incidence-based species accumulation curves[J]. Ecology,2004,85(10):2717-2727.

[16] 苗可儿,钱薇雅,张俊,等. 功能、谱系多样性在机场鸟类群落研究中的应用——以扬州泰州国际机场为例[J]. 动物学杂志,2023,58(2):182-197.
[17] 李巧. 指示值方法及其在昆虫中的应用[J]. 应用昆虫学报,2011,48(2):457-462.
[18] FAITH D P. Conservation evaluation and phylogenetic diversity[J]. Biological conservation,1992,61(1):1-10.
[19] BRAGHIN L S M,ALMEIDA B A,AMARAL D C,et al. Effects of dams decrease zooplankton functional β-diversity in river-associated lakes[J]. Freshwater biology,2018,63(7):721-730.
[20] FLOMER O,BLACK M,HOEH W,et al. DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates[J]. Molecular marine biology and biotechnology,1994,3(5):294-299.
[21] TEJA T,INGO G,C T W,et al. Beyond organic farming-harnessing biodiversity-friendly landscapes[J]. Trends in ecology & evolution,2021,36(10):919-930.
[22] HYVÖNEN T,KETOJA E,SALONEN J,et al. Weed species diversity and community composition in organic and conventional cropping of spring cereals[J]. Agriculture,ecosystems & environment,2003,97(1/3):131-149.
[23] KRAUSS J,GALLENBERGER I,STEFFAN-DEWENTER I. Decreased functional diversity and biological pest control in conventional compared to organic crop fields[J]. PLoS One,2011,6(5):e19502.
[24] 张凯旋,魏琮,南小宁,等. 日本弓背蚁颊下囊微生物的组成及多样性[J]. 昆虫学报,2018,61(6):686-697.
[25] 邱忠营,刘菲,张克瑶,等. 疣蝗转录组分析[J]. 基因组学与应用生物学,2016,35(8):1989-1998.
[26] LI W,GAO Y,CUI J,et al. Effects of temperature on the development and fecundity of *Atractomorpha sinensis* (Orthoptera:Pyrgomorphidae)[J]. Journal of economic entomology,2020,113(5):2530-2539.
[27] 贾慧茹. 黑带食蚜蝇迁飞模式研究[D]. 北京:中国农业科学院,2020.
[28] 马润国,靳江华,袁菲,等. 存储温度和时间对七星瓢虫、异色瓢虫和龟纹瓢虫卵孵化的影响[J]. 昆虫学报,2025,68(4):509-514.
[29] LORENZ K,LAL R. Environmental impact of organic agriculture[J]. Advances in agronomy,2016,139:99-152.
[30] WEBB C O,ACKERLY D D,KEMBEL S W. Phylocom:software for the analysis of phylogenetic community structure and trait evolution[J]. Bioinformatics,2008,24(18):2098-2100.
[31] SHARMA A,KUMAR V,SHAHZAD B,et al. Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem[J]. SN applied sciences,2019,1(11):1446.
[32] ZHANG H,YOU C M,WANG J Y,et al. A parasitic wasp-releasing engineering to promote ecosystem services in paddy systems[J]. Agriculture,ecosystems & environment,2024,373:109126.
[33] PILKINGTON L J,IRVIN N A,BOYD E A,et al. Introduced parasitic wasps could control glassy-winged sharpshooter[J]. California agriculture,2005,59(4):223-228.

[责任编辑:黄　敏]