

稻田寄生蜂和鳞翅目昆虫的多样性及变化动态

申昭灿¹, 陈龙¹, 邬家栋¹, 李元喜^{1*}, 王甦^{2*}

(1. 南京农业大学植物保护学院, 南京 210095; 2. 北京市农林科学院植物保护环境保护研究所, 北京 100097)

摘要: 稻田中的寄生蜂是水稻害虫重要的自然天敌, 在生物防治中起重要作用, 但是寄生蜂作用的发挥受到许多因素的影响。本文使用马氏诱集器调查了水稻各生育期稻田中寄生蜂和鳞翅目昆虫的种类及数量, 分析了水稻生育期对寄生蜂及其主要寄主鳞翅目昆虫数量的影响。结果发现, 在水稻各生育期捕获的寄生蜂数量均显著多于鳞翅目昆虫数量。其中姬蜂科、茧蜂科、赤眼蜂科、缨小蜂科及缘腹细蜂科等属于寄生蜂的优势类群, 分别占物种总数的 11.80%、11.71%、9.18%、15.51%和 11.83%。鳞翅目中, 螟蛾科、夜蛾科、卷蛾科和蛱蝶科等为优势类群, 分别占物种总数的 22.32%、20.87%、26.28%和 12.75%。随着水稻生育期的变化, 寄生蜂数量先上升后下降, 在水稻乳熟期达到最大值, 显著高于其他 7 个生育期的结果。寄生蜂科的 Shannon 多样性指数, 辛普森指数无明显变化, 均匀度指数到乳熟期时有所降低 (0.790), 随后逐渐上升直到收获。鳞翅目昆虫也呈现先上升后下降趋势, 水稻扬花期数量最多, 与其他生育期间存在显著差异; 鳞翅目科的 Shannon 多样性指数和辛普森指数在分蘖期到抽穗期虽有波动, 但各生育期间差异不显著。在水稻抽穗期到蜡熟期, 稻田中鳞翅目科的均匀度指数波动较大, 多个生育期间存在显著差异。结果表明, 水稻生育期对寄生蜂与鳞翅目昆虫发生数量存在一定的影响, 在特定生育期间对昆虫丰富度和多样性存在显著的影响。

关键词: 寄生蜂; 鳞翅目昆虫; 马氏诱集器; 多样性; 水稻生育期

中图分类号: S476.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9261(2017)05-0590-07

Diversity and Dynamic of Parasitoid Wasps and Lepidopteran Insects during Growth Stages of Rice

SHEN Zhaocan¹, CHEN Long¹, WU Jiadong¹, LI Yuanxi^{1*}, WANG Su^{2*}

(1. College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Institute of Plant and Environment Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: Parasitoid wasps are important natural enemies in paddy rice and play an important role in biological control. However, their role is significantly affected by many factors. To investigate the effect of different crop growing stage on the diversity of parasitoids wasps and lepidopteran insects, we used Malaise trap to collect the parasitoid wasps and lepidopteran insects in rice fields. The results showed that the population size of parasitoid wasps was far more than lepidopteran insects in each growth period. The Ichneumonidae, Braconidae, Trichogrammatidae, Mymaridae and Scelionidae were the dominant wasp groups in rice fields, accounting for 11.80%, 11.71%, 9.18%, 15.51% and 11.83% of the total wasps population size, respectively. Among the order, Lepidoptera, Pyralidae, Noctuidae, Tortricidae and Nymphalidae were the dominant species, accounting for 22.32%, 20.87%, 26.28% and 12.75% of the total, respectively. The number of parasitic wasps increased at the initial stages of rice and then decreased with the development of rice, reaching the highest at the milky stage and differed

收稿日期: 2017-05-07

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201203036); 北京市农林科学院科技创新能力建设专项(KJCX20140101)

作者简介: 申昭灿, 硕士研究生, E-mail: 2015102078@njau.edu.cn; *通信作者, 李元喜, 教授, E-mail: yxli@njau.edu.cn; 王甦, 副研究员, E-mail: anthocoridae@163.com。

DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2017.05.003

significantly from other seven growth stages. The Shannon diversity index and the Simpson index of the parasitic wasps did not vary significantly, but the evenness index decreased at the milky stage (0.790) and then gradually increased until harvest. The number of Lepidopteran insects also increased at the early rice stages and then decreased with the development of the rice, and reached the highest at the flowering stage and differed significantly from other growth stages. There were no significant differences in the Shannon diversity index and the Simpson index of Lepidopteran insects among the rice stages. However, the evenness index of Lepidoptera insect fluctuated greatly from the rice heading stage to the ripening stage and differed significantly among many stages. So the growth stage of rice affects the population size of parasitic wasps and Lepidopteran insect, and has significant effects on diversity and richness of parasitic wasps and Lepidopteran insect in specific stage.

Key words: parasitoid wasp; Lepidopteran insect; malaise trap; diversity; rice growth stages

寄生蜂是膜翅目中寄生性昆虫的总称, 种类较多且分布广泛, 其中的许多种类是水稻重要害虫的天敌。天敌对害虫的控制作用受天敌种类、丰富度及作物生长阶段等多种因素的影响^[1]。通常认为在作物发育早期天敌的数量越高对生物防治的效果越好, 尤其是专食性天敌昆虫数量的增加, 可以显著提高生物防治的效率^[2,3]。

稻田中的寄生性天敌种类十分丰富。刘雨芳^[4]调查广东省稻田生态系统后发现, 在获得的 385 种节肢动物中寄生蜂种类达 167 种。徐敦明等^[5]调查发现福建稻田中有 16 科 67 种寄生蜂, 占稻田天敌总物种数的 45.89%。以上是稻田中寄生蜂总量的调查结果, 但是稻田中寄生蜂数量会随着水稻生育期发生变化, 而且还会受到寄主、周围生境的影响。孙翠英等^[6]对贵州地区水稻拔节期、抽穗期和乳熟期寄生蜂数量调查发现, 寄生蜂物种丰富度指数以乳熟期最大, 多样性指数和均匀度指数在抽穗开花期最大。但是在整个水稻生育期间其多样性的变化还不明确, 且各地区间也存在一定差异。

寄生蜂的寄主包括鳞翅目、半翅目和鞘翅目等昆虫, 其中鳞翅目昆虫是寄生蜂主要的寄主, 几乎 50% 以上的寄生蜂都以鳞翅目昆虫为寄主^[7]。而鳞翅目昆虫在田间的发生量也非常大, 其中许多种类是重要的水稻害虫^[8,9]。由于寄生蜂的种群增长依赖于寄主, 因此, 寄生蜂数量的增长和寄主数量的增长间有跟随现象, 一般来说稻田寄生蜂的种类和数量反映出稻田害虫的种类和数量^[6]。但是随着水稻生育期的变化, 各时期的优势昆虫也会发生变化。在不同生育期间鳞翅目昆虫和寄生蜂的多样性将会发生什么样的变化, 鳞翅目昆虫和寄生蜂的变化间是否有相关性? 为了探明以上 2 个问题, 本研究从水稻分蘖期开始采集田间鳞翅目昆虫及寄生蜂成虫, 分析了寄生蜂以及鳞翅目昆虫的发生动态及相关关系, 为制订害虫综合治理措施提供参考。

1 材料与方法

1.1 调查地点与生境

调查地点为江苏省镇江市华山村润果高效农业生态基地稻田。该区域属亚热带季风气候, 常年平均气温 15.4 °C, 年降雨量约为 1056.5 mm, 地势比较平坦。该地区有近万亩的连片农田, 作物相对比较单一, 常年实行小麦和水稻轮作, 机械化采收。种植水稻品种为“粳稻 8901”, 5 月下旬开始播种, 6 月下旬至 7 月上旬开始移栽, 11 月下旬收割。在水稻生长期施药两次, 分别是在 7 月底施用阿维三唑磷、吡蚜酮、杀虫双防治水稻螟虫和稻飞虱以及 8 月底施用 20%康宽、1.8%阿维菌素、75%三环唑、50%烯啶虫胺、10%戊唑啉菌酯来防治纹枯病、稻瘟病、稻纵卷叶螟和稻飞虱。

1.2 调查方法

采用马氏诱集器 (Malaise trap) 定点采样。马氏诱集器 (长 1.8 m, 宽 1.5 m) 由苍山县金泰阳商行制作, 用 6 根长约 1.8 m 的竹竿固定在平地上; 收集瓶中加入 500 mL 纯酒精, 每次收样时将收集瓶中的标本连同酒精一起倒出, 重新加入 500 mL 纯酒精继续采集。共设置 3 个马氏诱集器, 分别设置于稻田 A (北纬 32.130, 东经 119.731)、稻田 B (北纬 32.142, 东经 119.730)、稻田 C (北纬 32.129, 东经 119.736) 中。每 2 周收样 1 次, 对应的水稻生育期分别为分蘖期 (7 月 30 日)、拔节孕穗期 (8 月 13 日)、抽穗期 (8 月 27 日)、扬花期 (9 月 10 日)、灌浆期 (9 月 23 日)、乳熟期 (10 月 7 日和 10 月 21 日)、蜡

熟期（11 月 2 日）和完熟期（11 月 18 日）。

1.3 数据统计与分析

将采样获得的数据按照水稻生育期进行分析处理。乳熟期时间跨度较长，采样 2 次，其数据为 2 次采样的平均值，时间记为 10 月 15 日。将每个采样时期获得的寄生蜂以及鳞翅目昆虫按照科进行分类，并统计寄生蜂以及鳞翅目昆虫科及科内个体数随着水稻生育期的变化动态和各生育期之间差异显著性。计算 Shannon 指数、辛普森指数和 Pielou 均匀度指数，3 种指数的计算公式为：Shannon 多样性指数 $H' = -\sum P_i \ln P_i$ ；辛普森指数 $D = 1 / \sum N_i (N_i - 1) / (N (N - 1))$ ；Pielou 均匀度指数 $J' = H' / \lg S$ 。式中 P_i 代表第 i 科所占的比例， N_i 为第 i 科的个体数， N 为所有科的个体数， S 为科数。

用 Excel 2010、SPSS 20.0 和 PRIMER 6 软件进行数据分析，采用 EXCEL 2010 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 寄生蜂及鳞翅目昆虫的群落组成

共鉴定寄生蜂 7068 只，分属于 7 总科 25 科，其中姬蜂科、茧蜂科、赤眼蜂科、缨小蜂科及缘腹细蜂科等属于优势类群，分别占物种总数的 11.80%、11.71%、9.18%、15.51%和 11.83%（表 1）。鉴定鳞翅目昆虫 1035 只，分属于 17 科，其中螟蛾科、夜蛾科、卷蛾科和蛱蝶科等属于优势类群，分别占物种总数的 22.32%、20.87%、26.28%和 12.75%（表 2）。

表 1 稻田中寄生蜂各科个体数及比例
Table 1 Parasitoid families and their percentages in rice field

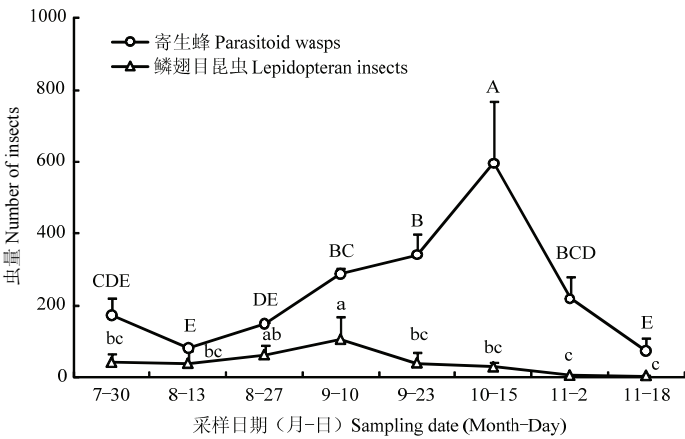
科别 Family	数量 Number	百分比 Percentage (%)
姬蜂科 Ichneumonidae	834	11.80
茧蜂科 Braconidae	828	11.71
蚜茧蜂科 Aphidiidae	247	3.49
赤眼蜂科 Trichogrammatidae	649	9.18
缨小蜂科 Mymaridae	1096	15.51
金小蜂科 Pteromalidae	457	6.47
跳小蜂科 Encyrtidae	602	8.52
姬小蜂 Eulophidae	627	8.87
小蜂科 Chalcididae	75	1.06
旋小蜂科 Eupelmidae	13	0.18
扁股小蜂科 Elasmidae	8	0.11
广肩小蜂科 Eurytomidae	20	0.28
巨胸小蜂科 Perilampidae	8	0.11
蚜小蜂 Aphelinidae	23	0.33
缘腹细蜂科 Scelionidae	836	11.83
广腹细蜂科 Platygasteridae	11	0.16
细蜂科 Proctotrupidae	6	0.08
锤角细蜂科 Diapriidae	120	1.70
大痣细蜂科 Megaspilidae	27	0.38
长背瘿蜂科 Charipidae	429	6.07
匙胸瘿蜂科 Eucoilidae	74	1.05
肿腿蜂科 Bethyloidae	47	0.66
螫蜂科 Dryinidae	28	0.40
环腹瘿蜂科 Figitidae	1	0.01
土蜂科 Scoliididae	2	0.03

表 2 稻田中鳞翅目各科个体数及其比例
Table 2 Lepidoptera families and their percentage in rice field

科 Family	数量 Number	百分比 Percentage (%)
螟蛾科 Pyralidae	231	22.32
夜蛾科 Noctuidae	216	20.87
卷蛾科 Tortricidae	272	26.28
尺蛾科 Geometridae	87	8.41
舟蛾科 Notodontidae	1	0.10
毒蛾科 Lymantriidae	16	1.55
菜蛾科 Plutellidae	7	0.68
麦蛾科 Gelechiidae	11	1.06
谷蛾科 Tineidae	16	1.55
羽蛾科 Pterophoridae	12	1.16
舞蛾科 Choreutis	5	0.48
蛱蝶科 Nymphalidae	132	12.75
粉蝶科 Pieridae	9	0.87
眼蝶科 Satyridae	6	0.58
弄蝶科 Hesperidae	6	0.58
灰蝶科 Lycaenidae	2	0.19
天蛾科 Sphingidae	6	0.58

2.2 寄生蜂及鳞翅目昆虫随水稻生育期的动态变化

从分蘖期到乳熟期，寄生蜂的数量逐渐上升；乳熟期后开始下降，直至水稻收获，在乳熟期的数量显著高于其他 7 个生育期的数量。鳞翅目昆虫数量从水稻分蘖期到扬花期呈现微弱的上升趋势，扬花期后鳞翅目昆虫的数量明显减少，与灌浆期、乳熟期、蜡熟期和成熟期存在着显著差异（图 1）。



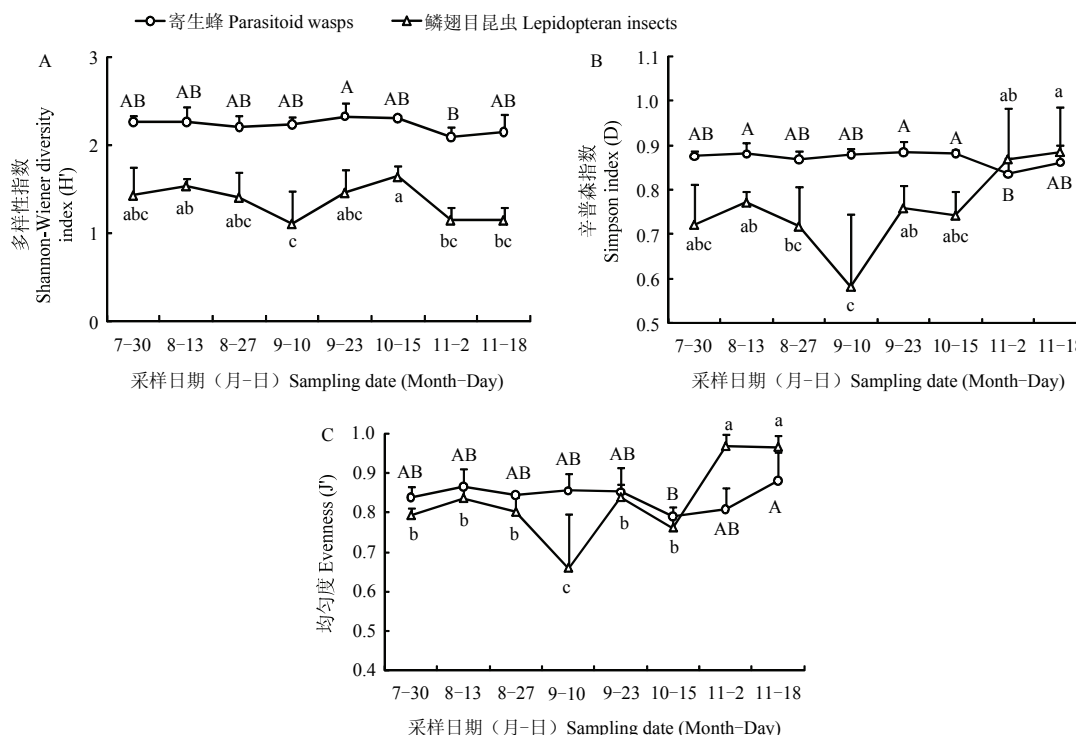
7-30: 分蘖期 Tillering stage; 8-13: 拔节孕穗期 Elongation and booting stage; 8-27: 抽穗期 Heading stage; 9-10: 扬花期 Flowering stage; 9-23: 灌浆期 Filling stage; 10-15: 乳熟期 Milky ripe stage; 11-2: 蜡熟期 Ripening stage; 11-18: 成熟期 Mature period
注：数值为平均值±标准差，大写字母表示水稻各生育期间寄生蜂的比较结果，小写字母表示水稻各生育期间鳞翅目昆虫的比较结果，字母不同表示差异显著（LSD 检验， $P<0.05$ ）。下同。

Note: Data were mean±SD, uppercase and lowercase letters indicated comparison among developmental stage of rice within parasitoids and lepidopteran insects, respectively. Data followed different letters are significantly different (LSD test, $P<0.05$). The same below.

图 1 水稻各个生育时期寄生蜂和鳞翅目昆虫的个体数
Fig. 1 The amount of individuals of parasitoid wasps and lepidopteran insects at different ages of rice

2.3 寄生蜂及鳞翅目昆虫多样性随水稻生育期的变化

随着水稻生育期变化,稻田内寄生蜂科的 Shannon 多样性指数、辛普森指数和均匀度指数无明显变化。寄生蜂科的 Shannon 多样性指数仅在灌浆期和蜡熟期存在显著差异,其余各时期期间无明显差异(图 2A);辛普森指数在蜡熟期时显著下降,与拔节孕穗期、灌浆期和乳熟期间存在显著差异(图 2B);均匀度指数在乳熟期时虽有所下降(0.790),但差异不显著(图 2C)。鳞翅目科的 Shannon 多样性指数、辛普森指数和均匀度指数在扬花期都呈现较为明显的下降趋势,随后逐渐上升(图 2)。在水稻抽穗期到蜡熟期,稻田中鳞翅目科的均匀度指数波动较大,抽穗期与扬花期、扬花期与灌浆期及乳熟期与蜡熟期都存在显著差异(图 2C)。



7-30: 分蘖期 Tillering stage; 8-13: 拔节孕穗期 Elongation and booting stage; 8-27: 抽穗期 Heading stage; 9-10: 扬花期 Flowering stage; 9-23: 灌浆期 Filling stage; 10-15: 乳熟期 Milky ripe stage; 11-2: 蜡熟期 Ripening stage; 11-18: 成熟期 Mature period

图2 寄生蜂和鳞翅目昆虫的多样性

Fig. 2 Diversity of parasitoid wasps and Lepidopteran insects

3 讨论

在作物生长早期,寄生蜂的数量与丰富度越高对生物防治的效果越好^[3,10]。有研究发现水稻田中的寄生蜂的丰富度从水稻移栽一直到分蘖期都是降低的,分蘖期后逐渐升高^[5];但本研究发现,从水稻分蘖期到扬花期,寄生蜂的数量和种类也比较少。出现这种现象的原因可能有两个,一方面是两次打药的时间分别是在水稻的分蘖期和扬花期,影响了寄生蜂的丰富度。刘向东和张孝羲^[11]分析了施用混灭威后的稻田节肢动物群落,发现施药后的稻田物种的均匀度、多样性和丰富度均显著降低。另一方面,作物轮作等也会影响水稻生育早期寄生蜂的多样性。由于前茬作物小麦的收割,寄生蜂迁移到周围的半自然生境中,而此时农田中的食物和寄主都相当匮乏,寄生蜂可能还未全部迁入稻田中。

Shannon 多样性指数和辛普森指数是反映群落多样性的重要指标,这2种指数在本研究中是测定一个群落样本随机抽取两个个体属于同科和属于不同科的概率。Pielou 均匀度指数测定的是稻田中寄生蜂和鳞翅目昆虫个体数目在各科的分布状况。在水稻整个生育期,寄生蜂科的 Shannon 多样性指数、辛普森指数及均匀度指数随水稻生育期变化波动较小,说明在各生育期寄生蜂科数及各科所占的比例无较大的变化。

此外,在乳熟期时寄生蜂的数量虽然达到最大值,但是由于缨小蜂科数量较多,导致物种个体数目分配不均衡,均匀度下降。鳞翅目昆虫从分蘖期到扬花期数量呈现一个缓慢的增长,扬花期时数量达到峰值,但是此时的 Shannon 多样性指数,辛普森指数以及均匀度指数均明显下降。在水稻抽穗期到蜡熟期,稻田中鳞翅目昆虫科的均匀度指数波动也较大。出现这种现象的原因可能与施药时间及作物种类有关。一方面,施药使一些靶标昆虫的数量急剧下降,非靶标昆虫的数量也会受到影响,打破了田间生态平衡^[12];另一方面,作物过于单一会导致群落结构不稳定。生境的植被成分会影响昆虫的数量和种类,可以为昆虫及其天敌提供可选择的食物帮助其度过一些不良的环境^[13,14]。Shi 等^[15]研究发现在间作茶园、间作枣园中昆虫群落稳定性都强于纯作园;董振隆等^[16]也发现,在花椒玉米间作园的昆虫物种数、个体数、群落多样性、丰富度、均匀性指数均比纯花椒园的高。因此应在大面积种植的水稻田中适当混作一些其他作物,优化空间配制,从而有利于害虫种群的控制。

鳞翅目害虫天敌数量与害虫数量会呈现明显的伴随现象,即随着害虫数量的增加,天敌的物种数、个体数也逐渐的增加^[17]。本研究发现稻田中寄生蜂的数量与鳞翅目昆虫数量呈现较为明显的跟随现象。在水稻分蘖期到扬花期鳞翅目昆虫的数量逐渐升高,扬花期达到最大值,寄生蜂的数量在拔节孕穗期到乳熟期逐渐升高,在乳熟期达到峰值,比鳞翅目昆虫滞后两个水稻生育期。出现这种现象的原因可能与寄生蜂的寄生习性有关,本试验捕获的鳞翅目昆虫全是成虫,而大多数寄生蜂并不能直接寄生鳞翅目昆虫的成虫,而是寄生卵、幼虫或者蛹^[7]。鳞翅目昆虫的成虫数量达到高峰后距离其次代卵、幼虫及蛹的数量高峰还需要一段时间,而且寄生蜂寄生鳞翅目昆虫的卵、幼虫或者蛹后,也要经过一段发育时期才能羽化成虫。

自然天敌出现在稻田的时间越早越有利于控制害虫的早期发生量^[3]。本研究发现寄生蜂与鳞翅目昆虫的伴随较为滞后,这种现象可能会影响自然天敌对害虫的早期控制效果。对此,可以采取一些措施提高稻田水稻生长早期天敌的丰富度,如使用性诱剂、寄主挥发物等化学物质把自然天敌吸引到水稻田中^[18,19],提高作物发育早期天敌的多样性,从而提高田间自然天敌的控制效果。但也并不是天敌的种类越多,自然防治的水平就越高;有研究发现随天敌多样性的提高,由于存在竞争及团体内捕食,生物防治的效果反而下降^[20-23]。因此,田间释放的或者补充的天敌昆虫应该与自然天敌形成一定的互补,而且应该在害虫数量开始递增时有针对地进行释放^[18],从而提高生物防治的效果。

参 考 文 献

- [1] 尤民生,刘雨芳,侯有明. 农田生物多样性与害虫综合治理[J]. 生态学报, 2004, 24(1): 117-122.
- [2] Landis D A, van der Werf W. Early-season predation impacts the establishment of aphids and spread of beet yellows virus in sugar beet[J]. Entomophaga, 1997, 42(4): 499-516.
- [3] Raymond L, Ortiz-Martinez S A, Lavandero B. Temporal variability of aphid biological control in contrasting landscape contexts[J]. Biological Control, 2015, 90(1): 148-156.
- [4] 刘雨芳. 稻田生态系统节肢动物群落结构研究[D]. 广州: 中山大学, 2000.
- [5] 徐敦明,李志胜,刘雨芳,等. 稻田及其毗邻杂草地寄生蜂群落结构与特征[J]. 生物多样性, 2004, 12(3): 312-318.
- [6] 孙翠英,龙见坤,潘盛波,等. 贵州不同区域水稻各生育期稻田寄生蜂的多样性差异[J]. 贵州农业科学, 2015, 43(1): 53-61.
- [7] 时振亚,申效诚. 寄生蜂鉴定[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1995, 60-63.
- [8] 王丙丽,王国昌,王素平. 姜堰市夏季稻田黑光灯下昆虫群落结构研究[J]. 广东农业科学, 2013, 40(2): 60-62.
- [9] 柯汉云,赵帅锋,邵美红,等. 浙西北稻田灯下昆虫群落结构分析初报[J]. 中国农学通报, 2014(7): 280-285.
- [10] Gardiner M M, Landis D A, Gratton C, et al. Landscape diversity enhances biological control of an introduced crop pest in the north-central USA[J]. Ecological Applications, 2009, 19(1): 143-154.
- [11] 刘向东,张孝羲. 选择性农药对稻田蜘蛛群落的影响[J]. 昆虫知识, 1999, 36(2): 67-70.
- [12] Story P, Cox M. Review of the effects of organophosphorus and carbamate insecticides on vertebrates: are there implications for locust management in Australia?[J]. Wildlife Research, 2001, 28(2): 179-193.
- [13] Sarthou J, Ouin A, Arrignon F, et al. Landscape parameters explain the distribution and abundance of *Episyrphus balteatus* (Diptera: Syrphidae)[J]. European Journal of Entomology, 2005, 102(3): 539.

- [14] Alignier A, Raymond L, Deconchat M, *et al.* The effect of semi-natural habitats on aphids and their natural enemies across spatial and temporal scales[J]. *Biological Control*, 2014, 77(1): 76-82.
- [15] Shi G L, Zhao L L, Miao Z W, *et al.* Structure characteristics of the arthropod community in the jujube orchards with different habitats[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2005, 48(4): 561-567.
- [16] 董振隆, 殷山山, 文易进, 等. 间作玉米对花椒园昆虫群落结构及稳定性的影响[J]. *云南农业大学学报*, 2013, 28(5): 647-653.
- [17] 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.
- [18] Reddy G V P, Guerrero A. Interactions of insect pheromones and plant semiochemicals[J]. *Trends in Plant Science*, 2004, 9(5): 253-261.
- [19] Cook S M, Khan Z R, Pickett J A. The use of push-pull strategies in integrated pest management[J]. *Annual Review of Entomology*, 2006, 52(1): 375.
- [20] Schellhorn N A, Andow D A. Response of coccinellids to their aphid prey at different spatial scales[J]. *Population Ecology*, 2005, 47(1): 71-76.
- [21] Tylianakis J M, Tscharntke T, Lewis O T. Habitat modification alters the structure of tropical host-parasitoid food webs[J]. *Nature*, 2007, 445(7124): 202-205.
- [22] Straub C S, Finke D L, Snyder W E. Are the conservation of natural enemy biodiversity and biological control compatible goals?[J]. *Biological Control*, 2008, 45(2): 225-237.
- [23] Martin E A, Reineking B, Seo B, *et al.* Natural enemy interactions constrain pest control in complex agricultural landscapes[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 2013, 110(14): 5534-5539.