

稻田节肢动物群落的多样性及 对褐飞虱的控制功能

刘向东¹, 张孝羲¹, 罗跃进², 朱元良³, 刘天龙³

(1. 南京农业大学植物保护学院, 南京 210095; 2. 安徽安庆市农科所, 安庆 246003;

3. 南京江浦植物保护站, 南京 211800)

摘要: 对江苏江浦及安徽安庆两地五种类型稻田的节肢动物群落生物多样性研究表明, 以对褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 具有抗性的粳稻田多样性指数最高。稻田蜘蛛亚群落与褐飞虱种群数量变化间存在明显的相关性, 11 年中 64% 的年份表现为显著相关。利用天敌功能指数 $EF = (E + P)^{E/P}$ 、数值反应的方法研究了稻田蜘蛛功能团与褐飞虱种群间的生存、繁殖和数量关系, 结果表明, 初始 EF 值与褐飞虱对水稻的危害率及褐飞虱种群的未来最大饱和容量 K 值间呈显著相关。本文讨论了利用初始 EF 值来预测天敌对害虫的功能作用及生物防治与化学防治协调的可能性。

关键词: 节肢动物群落; 功能团; 多样性; 控制功能; 褐飞虱

中图分类号: Q968.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0454-6296 (2002) 03-0359-06

The diversity of arthropod community and control function to brown planthopper (BPH) in rice field

LIU Xiang-Dong¹, ZHANG Xiao-Xi¹, LUO Yue-Jin², ZHU Yuan-Liang³, LIU Tian-Long³ (1. College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Anqing Agricultural Research Institute, Anqing 246003; 3. Jiangpu Plant Protection Station, Nanjing 211800, China)

Abstract: The diversity of arthropod community in five types of paddy were studied in Jiangpu, Jiangsu Province and Anqing, Anhui Province. The results showed that the diversity was the highest in the round grained rice field. The correlation frequency in 11 years between population density of spider sub-community and the brown planthopper (BPH), *Nilaparvata lugens* was 0.64. The EF index [$EF = (E + P)^{E/P}$] was employed to evaluate the nature enemy function to control the brown planthopper. The relations of spider functional group with growth, reproduction and population density of brown planthopper were investigated by numerical functional response method. The relations of the initial EF value with the injured rate of rice and the carrying capacity of logistic curve of the brown planthopper population (K) were significant. The possibility of using the initial EF value to predict the enemy function and to coordinate the pest control strategies with natural enemies and with chemical insecticides was discussed.

Key words: arthropod community; functional group; diversity; controlling function; *Nilaparvata lugens*

褐飞虱是水稻上的一种重要害虫, 其发生频繁、为害较大, 目前在种群水平上对其生物型(谭玉娟等, 1997)、迁飞与翅型分化及抗药性(包云轩等, 2000; 杜建光等, 1997; 王荫长等, 1996)等方面已有一些研究, 而涉及到整个稻田节肢动物群落或生态系统的研究则较少, 郝树广等(1998)研究了稻田节肢动物群落各营养层和优势功能团的组成与多样性变化, 并提出了从群落水平上来评估

天敌对害虫作用的观点。稻田节肢动物群落是各节肢动物种群间通过食物的联络而组成的复杂结构功能体(戈峰和丁岩钦, 1996; Heong, *et al.*, 1991), 也可以说是天敌、害虫和中性昆虫的有机组合。天敌在群落中位居食物链的高级阶层, 对害虫等猎物的增长有一定的抑制作用。稻田蜘蛛类群是害虫的主要捕食性天敌, 目前对其种类、食谱以及对害虫的捕食功能反应(罗礼富, 1985; 石根生

等, 1991; 谢万福等, 1992; Settle *et al.*, 1996; Riechert *et al.*, 1984) 等方面已有研究, 但是, 在结合农田生态系统中害虫-作物-气候等多方面因素来研究天敌对害虫的控制功能方面却很少有报道。本文从害虫、水稻品种、栽培、天敌及气候等方面着手, 采用刘向东等 (2001) 提出的天敌功能指数 (enemy functional index, *EF*) 在群落水平上研究分析了稻田主要捕食性天敌对褐飞虱的控制作用, 旨在为稻田害虫的综合管理提供指导。

1 材料与方法

1.1 生物群落的系统调查

1996 年在安徽安庆、1997 年在南京江浦选五种稻田类型各 0.27 hm², 在移栽后作系统调查, 即早移栽杂交稻汕优 63 (5 月 30 日移栽)、迟移栽杂交稻汕优 63 (6 月 17 日移栽)、粳稻南农 6427 (6 月 17 日移栽)、籼稻 9311 (6 月 17 日移栽) 和安庆杂交稻汕优 63 (6 月 7 日移栽) 五种类型, 其中除籼稻 9311 按常规用药外, 其余均不用药。调查均用平行跳跃式取样, 每次目测调查水稻 20~60 穴, 每隔 5~7 天调查一次, 直至水稻黄熟期, 每次调查的节肢动物样本均鉴定到种。群落的功能集团是以相似的方式利用相同等级的环境资源的物种群, 本研究根据郝树广等 (1998) 对稻田节肢动物功能集团的划分方法, 将蜘蛛等天敌按科、害虫按取食为害方式归并成不同功能团 (functional group), 进行群落多样性分析。

1.2 群落多样性测度

1.2.1 Shannon-Winner 指数 H' 测度: $H' = -\sum (P_i \ln P_i)$, 式中 P_i 为某一类群个体数占群落总个体数的比率。均匀度 $E = H'/\ln s$, 其中 s 为群落所含的物种数。

1.2.2 密度-类群指数 DG 测度: 采用廖崇惠等 (1990) 提出的指数, $DG = (g/G) \sum (D_i C_i / D_{\max} C)$, 式中 g 为该群落中的功能团数, G 为各群落所包含的总功能团数, D_i 为第 i 类功能团中的个体数 (或生物量), D_{\max} 为各群落中第 i 种功能团的最大个体数 (或生物量), C_i/C 为在 C 个群落中第 i 个功能团出现的比率。

1.3 田间围网接虫区蜘蛛对褐飞虱的控制作用

1996 和 1997 年分别在田间蜘蛛群落迁入稻田稳定后, 褐飞虱迁入前将水稻 (汕优 63 品种) 按

每网 4 m² 大小用尼龙网纱围严, 上端封口。褐飞虱迁入时夜间在灯下采集, 室内配对按不同虫量接种于各网内, 人为控制出各网内褐飞虱的不同虫口密度, 各处理 3~4 次重复。接虫后 15 天采用平行跳跃式取样目测调查, 每网查稻 15~20 穴, 按种类记录各穴稻上捕食性天敌及害虫的数量, 并作为初始数。以后每 7 天调查一次, 共查 6 次。在水稻成熟期调查每网内水稻受飞虱为害后的冒穿株率。

1.4 大田开放小区蜘蛛对褐飞虱的控制作用

1996、1997 年在单季汕优 63 稻田设置 20 m² 小区 4 个, 小区按系统调查田进行调查, 当小区内褐飞虱第一代成虫迁入结束并产卵繁殖达若虫高峰时, 用对蜘蛛具有选择性的 50% 混灭威药剂 (江苏海安农药厂出品), 按四种亚致死剂量 (每小区 0.5 g、1.0 g、1.5 g 和 2.0 g, 各加水 2 kg) 均匀地喷雾, 将小区内飞虱控制成不同的虫口密度, 每处理重复 2 次。施药后 3 天检查药效, 以后每 5 天调查一次, 并以药后第 8 天调查的各物种数量为初始量, 调查方法同 1.3, 共查 7 次。

1.5 天敌功能作用的评估参数

评估天敌作用的参数不但要考虑天敌与害虫的数量比值, 而且要考虑两者的数量。因此本文在评价天敌对害虫的控制作用时, 采用刘向东等 (2001) 提出的天敌功能指数 $EF = (E + P)^{E/P}$ 来估计, 其中 E 、 P 分别为百穴水稻上天敌和害虫的数量。当益害比 (E/P) 大于 1 时, EF 值随害虫和天敌数量的增加而急剧增加 (指数型增长); 当益害比小于 1 时, EF 值随害虫和天敌数量的增加而增加很慢。这一指数能较好地反映天敌对害虫控制作用的实际情况。

2 结果与分析

2.1 不同稻田类型节肢动物群落结构及多样性测度

南京江浦和安徽安庆两地稻田的节肢动物群落分别由 22 科 39 种和 18 科 34 种组成, 其优势集团基本一致。不同类型稻田节肢动物的多样性和均匀度指数等指标如表 1。结果表明不同稻田类型的生物多样性存在显著差异, 以对稻飞虱有一定抗性的粳稻田多样性最大, 与相同移栽期的感虫迟栽杂交稻田相比, 在水稻后期飞虱的总量相差很大, 分别为百穴 326 和 8 776 头, 而蜘蛛的总量相差不大, 分别为百穴 518 和 557 头。粳稻田的功能团数及功

能团间的均匀度均比杂交稻田大(表1), 说明抗虫品种对生物多样性的影响要远远比捕食性天敌的作用重要。

另外, 从生物多样性的不同分析指数来看, 香农指数 H' 更适合于相似类型的群落间或同群落不同时空条件下的比较(如早移栽和迟移栽杂交稻田

群落), 在计算中功能团间个体数的均匀度因素占很大的比重, 从而有时造成不合理的分析结果, 如常规用药田虽功能团数较不用药田减少, 但由于均匀度较大, 其 H' 仍处于较高水平。而密度-类群指数 DG 则能适合于作不同类型群落间的比较, 它能反映均匀度、丰富度等多种综合群落特性。

表1 不同类型稻田节肢动物群落的多样性

Table 1 The diversity of arthropod communities in different rice fields

项目 Item	南京江浦 Jiangpu, Nanjing			安徽安庆 Anqing, Anhui	
	早栽杂交稻 Early planted hybrid rice	迟栽杂交稻 Late planted hybrid rice	粳稻 Round grain rice	籼稻 Shandao rice	杂交稻 Hybrid rice
功能团 functional group	21	19	22	18	18
总个体数 number	9 570	25 345	4 335	1 600	8 485
H' 指数 H' index	0.9442	0.8067	1.9857	1.9224	1.2972
均匀度 evenness	0.3101	0.2740	0.6424	0.6651	0.4488
DG 指数 DG index	7.1352	7.2666	8.0521	2.9822	5.9024

2.2 稻田蜘蛛亚群落与褐飞虱间的相关性分析

2.2.1 蜘蛛亚群落与褐飞虱数量间的相关性: 1987~1997年南京江浦汕优63稻田中蜘蛛亚群落

与褐飞虱密度间相关性分析表明, 11年中有7年达相关显著和极显著, 相关达显著的年概率为0.64(表2)。

表2 稻田蜘蛛亚群落与褐飞虱发生数量间的相关性

Table 2 The coherency between spiders and brown planthopper

年份 Year	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
r	0.4994*	0.8467**	0.4998*	0.0768	0.6020*	0.4583	0.4235	0.2117	0.6315**	0.6383**	0.5837*
df	14	14	14	12	10	9	13	14	14	14	13

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。下同 The same for the following table

2.2.2 不同类型稻田蜘蛛亚群落与褐飞虱的相关性: 对南京江浦四种类型稻田中的蜘蛛亚群落与褐飞虱不同虫龄数量的相关性分析表明(表3)不同类型田和褐飞虱不同虫龄间其相关性有一定差异。比较抗虫而褐飞虱优势度不突出的粳稻田相关性不明显, 而较感虫褐飞虱优势度明显的杂交稻田则相

关显著。同一杂交稻品种(汕优63)移栽期不同, 相关性相似, 但褐飞虱迁入时处在圆秆拔节期的早移栽田, 褐飞虱繁殖数量比迁入时处于分蘖期的迟移栽田少得多, 因此相关显著水平不同。药剂防治田则二者总体数量间相关不明显。

表3 不同类型稻田蜘蛛亚群落(S)与褐飞虱(BPH)的相关性

Table 3 Coherency between spiders and BPH with different rice fields

相关项 Item	感虱品种 Susceptible variety		抗虱品种 Resistant variety	
	早栽杂交稻 Early planted hybrid rice	迟栽杂交稻 Late planted hybrid rice	粳稻 Round grain rice	籼稻 Shandao rice
S-BPH 总体 total	0.679*	0.756**	0.260	0.362
S-BPH 短翅成虫 short-winged adult	0.253	0.146	0.144	0.565**
S-BPH 长翅成虫 long-winged adult	0.585*	0.791**	0.521	0.703**
S-BPH 低龄若虫 young nymph	0.432	0.213	0.096	0.258
S-BPH 高龄若虫 aged nymph	0.608*	0.588*	0.348	0.086

褐飞虱不同虫态间与蜘蛛的相关性也有差异，以长翅型及高龄若虫期相关性比较明显。这可能与虫龄数量间的差异悬殊程度，如低龄若虫数量特大，以及蜘蛛的捕食选择性有关。但是，数量上的相关仅能说明捕食者对猎物控制作用的一种潜在可能性，还不能说明其控制作用。

2.3 稻田主要捕食性天敌对褐飞虱数量的控制作用

2.3.1 不同 EF 初始值对未来褐飞虱数量的影响：田间围网接虫区不同初始 EF 值下褐飞虱的数量增长情况如图 1 所示，在初始 EF 值较高的网中 (EF 值分别为 10.07 及 11.01)，在未来褐飞虱数量基本在防治指标 ET 以下，而在初始 EF 值较低的两网中 (EF 分别为 4.81 和 3.32)，6 次调查中分别有 3 次和 4 次超过 ET 值，特别是防治适期时 (30 天) 褐飞虱密度已分别达 22.6 和 32.1 头/穴，均需进行药剂防治。又从初始 EF 值和接虫后褐飞虱数量间的相关性分析知，二者间呈显著负相关 ($r = -0.9574 > r_{0.05}$)。可见在当年的这种生物及环境条件下，可望用初始 EF 值估测未来褐飞虱的发展趋势，从而指导化学防治。

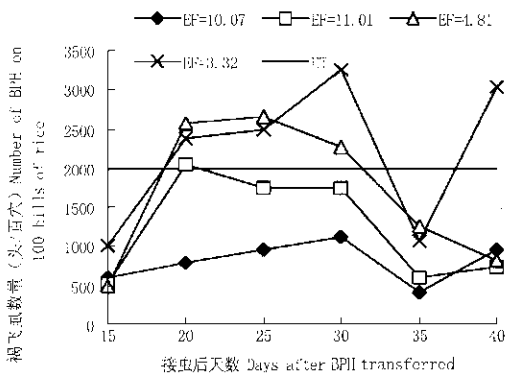


图 1 不同初始 EF 下褐飞虱的数量动态 (安庆, 1996)

Fig.1 Number of planthopper under different EF (Anqing, 1996)

2.3.2 EF 初始值对水稻受害率的影响：不同初始 EF 值下水稻的被害程度如图 2 所示，随初始 EF 值的升高水稻被害率下降。初始 EF 值与水稻被害率间的相关性分析表明，两者间存在极显著的负相关性，相关系数为 $-0.8843 (r_{0.01} = 0.874)$ 。这说明稻田捕食性天敌对褐飞虱有一定的控制效果。

2.4 稻田蜘蛛对褐飞虱种群生长的影响及模拟 用 Logistic 曲线模拟围网区和开放区褐飞虱种

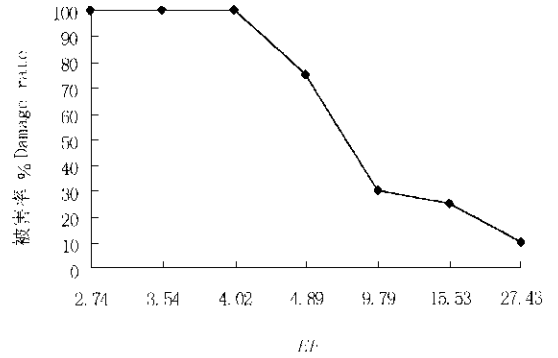


图 2 不同初始 EF 值下水稻的被害率 (江浦, 1997)
Fig. 2 Damage rate of rice under different EF (Jiangpu, 1997)

群的生长趋势，均达显著符合程度 ($\chi^2 < \chi_{0.05}^2$)。计算出各处理中百穴水稻上褐飞虱的最大饱和容量 K 值如表 4，结果表明，围网区及开放区内褐飞虱的最大饱和容量 K 均随初始 EF 值的降低而增大，表现出蜘蛛对褐飞虱有一定的控制作用。

对围网区及开放区 S_0 、 P_0 及 EF 的值与褐飞虱种群的最高密度值 K 间的相关性分析 (表 5) 可知，除 1997 年围网区初始蛛量 S_0 与 K 有显著负相关外，其余两年无论围网或开放小区 S_0 或 P_0 与未来飞虱最大密度 K 间均未达显著相关水平。而初始 EF 值在围网内两年均与 K 值呈显著或极显著相关。在 1997 年开放区中虽未达显著水平，但与 S_0 或 P_0 相比其相关系数也略高。分析其原因，在围网 (4 m^2) 小面积内可能限制了蜘蛛的活动范围，并且围网内其它猎物寄主的种类和数量也均相对减少，从而增强了其对飞虱的捕食功能。

从以上研究中可见，褐飞虱种群的最大密度 K 值均随初始 EF 的增大而下降。可见蜘蛛对飞虱有一定控制作用。从图 1 及表 4 中也可见在 1996 年飞虱轻发生年的情况下，当初始天敌功能指数 $EF > 7$ 左右时，便可使未来飞虱种群的最高密度控制在防治指标 20 头/穴以下。但在 1997 年，由于该年长江中下游的气候呈“夏凉秋暖”，特别适合褐飞虱的繁殖增长，从而造成该虫在长江中下游地区大发生。并从表 4 可见，无论在围网或开放小区内即使初始 EF 值高达 71.06 时，飞虱的 K 值仍远远大于防治指标，只有当 EF 值高达 1 551.7 时飞虱的 K 值才略低于防治指标。分析其原因主要由于 1997 年环境气候对飞虱特别有利而使其世代增殖率较 1996 年增大 2~3 倍 (表 6)，而蜘蛛两年间则几乎相同，均大大小于飞虱的增殖率，从而影响其

控制功能。但是，即使在飞虱大发生年份，田间小区内蜘蛛虽然不能达到控制飞虱种群于防治指标以下，但对飞虱种群的世代增殖率仍有一定的抑制作用，天敌功能指数 EF 的高低能显著影响飞虱增殖率的大小，而对蜘蛛的增殖率却没有影响（表 6）。

因此可以认为蜘蛛亚群落对褐飞虱确有一定的控制功能作用，但是这种控制功能是有一定限度的。它除了与稻田内初始蜘蛛量（ S_0 ）、飞虱量（ P_0 ）和 EF 值等生物因素有关外，更重要的还受物理环境条件的影响。

表 4 不同初始 EF 值下褐飞虱种群生长的 Logistic 曲线模拟及最大饱和容量 K

Table 4 Growth of BPH population simulated by logistic model and its carrying capacity K in different EF

处理	年份	初始蛛量	初始虱量	初始 EF	最大饱和容量	卡方检验
Treatment	Year	S_0	P_0	EF	K	χ^2
围网区 nylon net	1996	220	610	11.29	1 653.7	0.0070*
		200	700	6.98	2 181.3	3.5497*
		120	490	4.81	2 570.0	-
		140	3 335	1.41	3 350.0	-
	1997	345	550	71.06	9 412.6	4.1570*
		300	600	30.00	10 904.3	3.6319*
		275	1 100	6.09	12 025.6	3.1452*
		240	1 320	3.81	12 338.2	1.5795*
开放区 open plot	1997	205	165	1 551.70	1 673.2	4.6710*
		195	275	78.50	7 740.6	4.6587*
		230	460	26.30	15 910.1	3.9820*
		265	1 115	5.60	171 778.6	2.6249*

* 表示模拟适合；“-”未模拟； S_0 和 P_0 均为 100 穴水稻上虫量 Simulated every good ($P < 0.05$)；“-” not simulated; S_0 and P_0 are the original spider and BPH on 100 hills of rice

表 5 褐飞虱的最大饱和容量 K 与 S_0 、 P_0 及 EF 的相关性

Table 5 The correlation between K and S_0 , P_0 , EF

相关项 Item	年份 Year	相关系数 Coefficient of correlation	
		围网区 Nylon net	开放区 Open plot
$S_0 - K$	1996	-0.7929	-
	1997	-0.9727*	-0.8126
$P_0 - K$	1996	0.8326	-
	1997	0.9038	0.8188
$EF - K$	1996	-0.9947**	-
	1997	-0.9230*	-0.8651

3 讨论

本研究摆脱了对种间关系一般单纯研究捕食作用的功能反应 (functional response) 的做法，直接在田间进行营养阶层间的数值反应研究。数值反应 (numerical response) 是指功能团间在数量 (生物量)、生存和繁殖间的相关依赖、相互制约关系。从试验结果可看出蜘蛛亚群落对褐飞虱种群的功能

作用并不单纯表现在它们间的捕食关系，而与二者本身或相互间的密度效应以及环境条件，特别是气候条件，对二者间繁殖率影响的差异也有关 (表 6)。数值反应的研究可以综合地反映出生态系统内这些功能作用，同时也可看出消费者亚系统即草食动物与肉食动物亚系统中蜘蛛与飞虱间的相生相克关系与植物亚系统中的作物 (水稻) 的类型也有关，如对褐飞虱具抗虫性的粳稻田飞虱的优势度显著较弱，生物多样性大，而捕食者 (蜘蛛) 与飞虱间的数量关系不显著 (表 3)，而感虫性的杂交稻则相反。

本研究将飞虱和蜘蛛功能团的初始数量换算为初始天敌功能指数 EF 值，又系统调查和模拟了蜘蛛和褐飞虱在稻田中数量增长的 Logistic 轨迹及其最大饱和容量 K 值，分析得不同等级的初始 EF 值与褐飞虱 K 间相关显著，并在褐飞虱轻发生的 1996 年时，初始 EF 值在 7~11 间便可控制未来褐飞虱 K 在 ET 以下，但在大发生的 1997 年，即使 EF 值高达 78.5 时未来褐飞虱数量也将失控 (表 4)，但仍对褐飞虱的增殖率有显著的控制作用 (表

表 6 不同年份围网区及开放区褐飞虱和蜘蛛的增殖率

Table 6 Reproduction rate of BPH and spider in neylon nets and open plots

处理 Treatment	年份 Year	起始蛛量 S_0	起始虱量 P_0	EF	增殖率 Reproduction	
					褐飞虱 BPH	蜘蛛 Spider
围网区 neylon net	1996	200	555	10.89	4.65 ± 1.03 c	2.16 ± 0.96 a
		150	600	5.23	5.72 ± 0.58 c	2.83 ± 0.95 a
	1997	245	740	9.80	10.91 ± 2.22 b	2.32 ± 0.61 a
		200	805	5.57	15.65 ± 1.17 a	3.49 ± 2.26 a
开放区 open plot	1996	285	185	13076.00	1.99 ± 0.38 c	1.32 ± 0.27 b
		200	190	533.87	11.20 ± 6.92 bc	2.53 ± 0.024 a
	1997	210	315	65.08	19.40 ± 3.46 ab	2.65 ± 0.04 a
		235	570	15.78	27.94 ± 5.45 a	2.62 ± 0.12 a

数据后不同字母表示同一处理内不同 EF 值间差异显著 ($P < 0.05$)

The different letters showed significant difference between different EF treatments ($P < 0.05$)

6)。当然, 初始 EF 值对未来褐飞虱种群 K 值控制在 ET 值以下的临界指标还有待作进一步研究, 同时也认为, 二个营养阶层间功能作用的预测不但要考虑生物影响的因子, 还必须考虑外界物理环境因子的作用。

参 考 文 献 (References)

- Bao Y X, Cheng J Y, Cheng X N, Chu C S, Shen T L, 2000. Dynamical and numerical simulations on the processes of *Nilaparvata lugens* long-distance migration northward during the midsummer in China. *Acta Entomol. Sin.*, 43 (2): 176 - 183. [包云轩, 程极益, 程遐年, 储长树, 沈桐立, 2000. 中国盛夏褐飞虱北迁过程的动态数值模拟. 昆虫学报, 43 (2): 176 - 183]
- Du J G, Wang Q, Cheng X N, 1997. Histological study on the wing dimorphism of the brown planthopper *Nilaparvata lugens*. *Acta Entomol. Sin.*, 40 (Suppl.): 135 - 138. [杜建光, 王群, 程遐年, 1997. 褐飞虱翅型分化的组织学研究. 昆虫学报, 40 (增刊): 135 - 138]
- Ge F, Ding Y C, 1996. Studies on the correlation between the structure and function of insect pests community and natural enemies community in cotton agroecosystems. *Acta Ecol. Sin.*, 16 (5): 535 - 540. [戈峰, 丁岩钦, 1996. 棉田生态系统中害虫、天敌群落结构与功能关系的研究. 生态学报, 16 (5): 535 - 540]
- Hao S G, Zhang X X, Cheng X N, Luo Y J, Tian X Z, 1998. The dynamics of biodiversity and the composition of nutrition class and dominant guilds of arthropod community in paddy field. *Acta Entomol. Sin.*, 41 (4): 343 - 353. [郝树广, 张孝羲, 程遐年, 罗跃进, 田学志, 1998. 稻田节肢动物群落营养层及优势功能集团的组成与多样性动态. 昆虫学报, 41 (4): 343 - 353]
- Heong K L, Aquino G B, Barrion A T, 1991. Arthropod community structures of rice ecosystems in the Philippines. *Bulletin of Entomological Research*, 81: 407 - 416.
- Liao C H, Chen M Q, 1990. Secondary succession of soil animal community and its development process in tropical artificial forest. *J. Appl. Ecol.*, 1 (1): 56 - 61. [廖崇惠, 陈茂乾, 1990. 热带人工林土壤动物群落次生演替和发展过程的探讨. 应用生态学报, 1 (1): 56 - 61]
- Liu X D, Zhang X X, Guo H F, Luo Y J, 2001. Control function of spider community to planthopper in the rice field. *Acta Ecol. Sin.*, 21 (1): 100 - 105. [刘向东, 张孝羲, 郭慧芳, 罗跃进, 2001. 稻田蜘蛛群落对稻飞虱的控制功能作用研究. 生态学报, 21 (1): 100 - 105]
- Luo L Z, 1985. The growth and decline of rice planthopper in rice fields and the correlation between enemies and rice planthopper. *Entomological Knowledge*, 22 (3): 101 - 104. [罗礼富, 1985. 稻飞虱的田间消长及与天敌的相关性分析. 昆虫知识, 22 (3): 101 - 104]
- Riechert S E, Lockley T, 1984. Spider as biological control agents. *Ann. Rev. Entomol.*, 29: 299 - 320.
- Settle W H, Endah H A, Astuti T, 1996. Managing tropical rice pests through conservation of generalist natural enemies and alternative prey. *Ecology*, 77 (7): 1975 - 1988.
- Shi G S, Zhang X X, Fei H X, Le F H, Zhou X J, 1991. Studies on predation of the paddy field spiders and their mathematical simulation model. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 14 (4): 39 - 43. [石根生, 张孝羲, 费惠新, 乐富海, 周翔骏, 1991. 稻田蜘蛛捕食作用及其数学模拟模型研究. 南京农业大学学报, 14 (4): 39 - 43]
- Tan Y J, Zhang Y, Huang B C, 1997. Monitoring the variation dynamics of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* biotypes and recommending the resistant rice cultivars and resources. *Acta Entomol. Sin.*, 40 (1): 32 - 39. [谭玉娟, 张扬, 黄炳超, 1997. 褐稻虱生物型变异动态监测及抗虫品种资源推荐. 昆虫学报, 40 (1): 32 - 39]
- Wang Y C, Li G Q, Ding S Y, Dong X H, Tian X Z, Gao B Z, 1996. The variation of resistance level of to *Nilaparvata lugens* conventional insecticides among years. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 19 (Suppl.): 1 - 8. [王荫长, 李国清, 丁士银等, 1996. 褐飞虱对常用药剂敏感性的年度间变化规律. 南京农业大学学报, 19 (增刊): 1 - 8]
- Xie W F, Liu W Z, 1992. The control function of spider to rice planthopper in southern area of Hunan province. *Entomological Knowledge*, 29 (6): 325 - 328. [谢万福, 刘文周, 1992. 湘南地区稻田蜘蛛对飞虱的控制作用. 昆虫知识, 29 (6): 325 - 328]