

稻田主要捕食性天敌的栖境生态位 与捕食作用分析*

吴进才 陆自强

(江苏农学院植保系,扬州 225001)

杨金生 束兆林

(江苏丘陵地区镇江农科所,句容 212400)

摘要 本文进行了稻田捕食性天敌与稻飞虱的栖境生态位调查,并应用正交试验设计、添加试验法和排除试验法研究了7物种的栖境生态位与各天敌捕食作用的关系。结果表明:在5种灭敌与2种害虫共存系统中,天敌对褐飞虱 *Nilaparvata lugens* Stål 捕食量的正主效应大小依次为:棕管巢蛛 *Clubiona japonicola*、青翅蚁形隐翅虫 *Paederus fuscipes*、前齿肖蛸 *Tetragnatha praedonia*、食虫沟瘤蛛 *Ummeliata insecticeps*、拟水狼蛛 *Pirata subpiraticus* 的负主效应值最大(随狼蛛密度增大捕食量下降);对稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée 捕食量正主效应大小依次为:棕管巢蛛、肖蛸、青翅蚁形隐翅虫。多物种共存系统中,狼蛛、微蛛、跳蛛主要捕食飞虱;肖蛸主要捕食稻纵卷叶螟;管巢蛛对两种害虫均具有较好的控制作用。这与各物种的生态位宽度值相一致。当飞虱密度在每穴10—30头时,多物种共存系统优良的生物序是拟水狼蛛、食虫瘤蜘蛛、青翅蚁形隐翅虫各为1头,棕管巢蛛2头,此时天敌的控制作用最大。添加法和排除法试验结果表明在具一定数量的多物种共存系统中,再增加天敌密度不一定能增加猎物的被捕食数,其直接的生物学原因是种间种内干扰(包括种间种内残杀)

关键词 栖境生态位 捕食效应 捕食者 稻田

在稻田多种捕食性天敌与多种害虫共存系统中,由于天敌种类繁多,一种天敌往往捕食多种害虫,一种害虫又会被多种天敌捕食;天敌间、天敌与害虫间形成了极其复杂的网络关系。在这一复杂的网络关系中,研究每一物种的栖境生态位,天敌的捕食效应及网络中成员间的关系,其方法是值得探讨的。在众多的文献中,绝大多数是依据田间天敌与害虫的数量消长的相关性来阐述天敌的控制作用(湖南师范学院等,1980;罗肖南等,1986;王洪全,1987;张永强,1981、1989;祁彪,1990)。其局限性在于种间食物生态位、捕食效应及种间关系不明。另一类研究天敌与害虫关系的方法归结为模型法和功能反应法(李超等,1982;周集中等,1987;Holling, 1961; Maly, 1975; Akre 等, 1979; Colton, 1987; Wadeb, 1989)。他们主要是在实验条件下研究1种天敌与1种害虫或1种天敌与2种害虫的选择捕食作用,或2种天敌与1种害虫的模型研究。超过3个物种模型的复杂性增加且文献较少。80年代中后期能流学方法引入捕食者-猎物系统或植物-猎物-捕食者

本文于1990年11月收到。

* 国家自然科学基金资助项目。

丁成兵、孙进文参加部分试验,特表谢意。

系统的研究中,所及物种多数也不超过3种(戈峰等,1990; Gutierrez 等,1984)。

本文在多年田间系统调查的基础上,把多种捕食性天敌与多种害虫看作为一个共存系统,应用多因素试验设计、添加法和排除法研究天敌与天敌间、天敌与害虫间及与害虫被捕食量大小的关系。以此探索天敌保护利用的新理论和新方法。

研 究 方 法

1. 天敌与飞虱自然种群栖境生态位调查

1990年在江苏响水选择长势均匀的杂交稻田2块,隔5天目测检查1次水稻植株基部(离水面或地面5cm左右)、茎部、叶片上的各种捕食性天敌、白背飞虱、褐飞虱数量。每次调查40穴水稻。

2. 7物种共存系统的正交试验

选择稻田主要5种天敌:拟水狼蛛 *Pirata subpiraticus* (P_1) (代表游猎型,性情凶猛、活动于稻株基部的狼蛛、盗蛛类)、食虫沟瘤蛛 *Ummeliata insecticeps* (P_2) (代表小型的微蛛类)、棕管巢蛛 *Clubiona japonicola* (P_3) (代表游猎于茎叶夜出活动、行动敏捷、捕食力强、生态位较宽的管巢蛛类)、前齿肖蛸 *Tetragnatha praedonia* (P_4) (代表活动于叶片的肖蛸等)、青翅蚁形隐翅虫 *Paederus fuscipes* (P_5) (代表茎叶间活动迅速的隐翅虫类);所选害虫有食叶性的稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée (P_6)、刺吸式的褐飞虱 *Nilaparvata lugens* Stål 3龄若虫 (P_7)。采用有交互作用的正交表 $L_{32}(2^{31})$ 安排试验。根据作者过去的研究确定须考虑的物种间的交互作用组合有: $P_1 \times P_2, P_1 \times P_3, P_1 \times P_4, P_1 \times P_5, P_1 \times P_6, P_1 \times P_7, P_2 \times P_5, P_2 \times P_6, P_3 \times P_5, P_3 \times P_6, P_3 \times P_7, P_4 \times P_5, P_4 \times P_6, P_4 \times P_7, P_5 \times P_6, P_5 \times P_7$ 。排表时主效和互作没有混杂。所有32个处理组合重复2次。试验在盆栽水稻上进行,按设计要求接入一定数量的天敌和害虫,过3天观察剩余天敌和害虫数。

3. 排除试验法

在正交试验基础上,采用在7物种共存系统中逐一排除1物种以进一步证实每一物种的栖境生态位与捕食作用的关系。试验重复5次。

4. 添加试验法

固定7物种于某一密度水平,然后逐一增加天敌物种的密度水平,研究共存系统中各物种密度增加对害虫被捕食数的影响,并验证1—3项试验结果。重复5次。

结 果 与 分 析

一、物种的栖境生态位

1. 各物种种群数量动态的时空结构:稻田各类捕食性天敌和稻飞虱不同时间、空间数量变化见图1。各物种在水稻植株上分布比例见表1。从图1、表1可见,狼蛛、隐翅虫、黑肩绿盲蝽、褐飞虱以茎基部占多数;肖蛸主要分布于叶片上;园蛛、跳蛛、球蛛以茎叶上占多数;管巢蛛、白背飞虱以基、茎、叶上均有分布,以茎叶为多。不同物种栖境生态位有所差异,对天敌来说,其主要捕食对象(或称控制生态位)因种而异。

2. 各物种类群生态位宽度值:生态位宽度测定公式为。

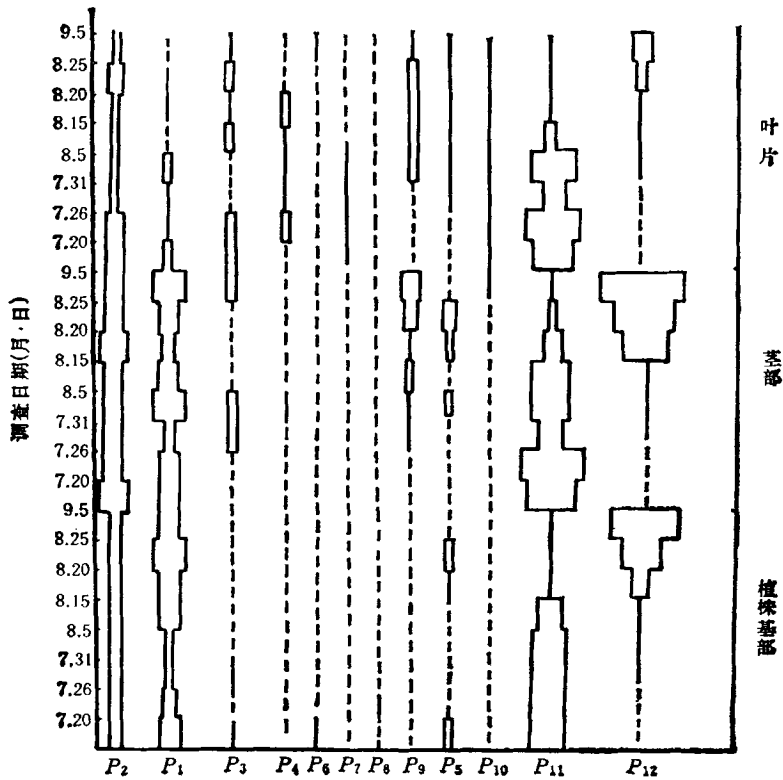


图 1 捕食性天敌与稻飞虱种群数量动态的时空结构

P_1 . 狼蛛 P_2 . 微蛛 P_3 . 管巢蛛 P_4 . 肖蛸 P_5 . 隐翅虫 P_6 . 跳蛛 P_7 . 园蛛 P_8 . 蟹蛛 P_9 . 黑肩绿盲蝽 P_{10} . 球腹蛛 P_{11} . 白背飞虱 P_{12} . 褐飞虱

表 1 各类捕食性天敌、飞虱在植株不同部位的分布比例

物种类群	分布比例(%)	植株部位		
		基 部	茎 部	叶 片
狼蛛 (P_1)		37.7	60.9	1.4
微蛛 (P_2)		6.6	77.4	16.0
管巢蛛 (P_3)		7.2	52.3	40.5
肖蛸 (P_4)		0	22.5	77.5
园蛛 (P_7)		0	61.9	38.1
跳蛛 (P_8)		50.0	10.0	40.0
隐翅虫 (P_9)		46.6	43.8	9.6
黑肩绿盲蝽 (P_{10})		3.4	80.6	16.0
球腹蛛 (P_{11})		0	50.0	50.0
白背飞虱 (P_{12})		14.1	60.9	25.0
褐飞虱 (P_{12})		19.0	79.0	1.1

$$B_i = \frac{\lg \sum N_{ij} - \left(\frac{1}{\sum N_{ij}} \right) (\sum N_{ij} \lg N_{ij})}{\lg r}$$

式中 N_{ij} 为 i 种利用 j 资源等级的数值, r 为生态位资源等级数(这里 $r = 3$)。计

算结果见图 2。

9 种天敌类群中,管巢蛛的生态位宽度值最大,蟹蛛最小;两种飞虱中白背飞虱的生态位宽度值大于褐飞虱。生态位宽度值大的种在植株上的活动范围广,对捕食性天敌来说,捕食范围也广。

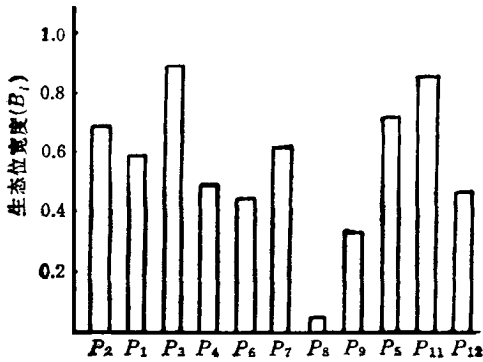


图 2 各物种类群生态位宽度值代号, $P_i (i = 1, 2, \dots, 12)$ 同图 1

分别为每穴 1 头和 2 头; 稻纵卷叶螟、褐飞虱的 1、2 水平对应的密度为每穴 2 头、4 头和 10 头、30 头。

表 2 7 物种共存系统正交试验的表头设计

因素	P_1	P_2	$P_1 \times P_2$	P_3	$P_1 \times P_3$	$P_1 \times P_4$	P_4	P_6	$P_1 \times P_6$	$P_2 \times P_6$	$P_3 \times P_6$	$P_5 \times P_7$	$P_4 \times P_6$
列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	15
因素	$P_2 \times P_5$	P_3	$P_1 \times P_5$	$P_4 \times P_5$	$P_3 \times P_3$	$P_4 \times P_7$	$P_5 \times P_6$	$P_3 \times P_7$	$P_2 \times P_7$	$P_1 \times P_7$	P_7		
列号	16	18	19	21	22	24	26	27	29	30	31		

(1) 飞虱和稻纵卷叶螟被捕食的主效应分析

在试区范围内 ($P_7 \in [10, 30]$, $P_6 \in [2, 4]$), 由表 3 中的极差 (R) 可见, 飞虱被捕食数的主效应大小依次为 $P_7 > P_1 > P_3 > P_5 = P_4 > P_2$ 。正主效应以棕管巢蛛最大; 拟水狼蛛负主效应最大, 表明随狼蛛密度增加捕食量下降; 食虫沟瘤蛛的主效应值最小。共存系统中稻纵卷叶螟幼虫被捕食数的主效应大小依次为 $P_1 > P_6 > P_3 > P_4 > P_5 > P_2$, 几种天敌正主效应以棕管巢蛛为最大, 拟水狼蛛仍表现为负效应。结果认为棕管巢蛛对两种害虫均具有较好捕食控制作用, 是个优良天敌物种; 肖蛸主要捕食稻纵卷叶螟; 狼蛛主要捕食飞虱, 但由于种间干扰, 在猎物密度较低时, 增加密度不一定能增加捕食数。这些结果与天敌在植株上的栖境生态位宽度相对应。

(2) 种间交互作用及优良生物序

试验考虑的交互作用对捕食数的影响有 16 个组合。其中对飞虱捕食正交互作用组合有: $P_1 \times P_4, P_2 \times P_6, P_3 \times P_6, P_5 \times P_7, P_4 \times P_6, P_3 \times P_5, P_1 \times P_7$; 负交互作用组合有: $P_1 \times P_2, P_1 \times P_3, P_1 \times P_6, P_1 \times P_5, P_4 \times P_5, P_4 \times P_7, P_5 \times P_6, P_3 \times P_7$ 。各交互作用组合与害虫被捕食的关系见图 3、图 4。

若以飞虱被捕食数越多越好, 经分析多物种共存系统的优良生物序 (物种水平) 为:

表 3 7 物种共存系统正交试验结果*

试 号	物 种	拟水狼蛛 P_1	食虫沟瘤蛛 P_2	棕管巢蛛 P_3	前齿肖蛸 P_4	纵卷叶螟 P_6	隐翅虫 P_5	褐飞虱 P_7	褐飞虱被 捕食数 $Y_{N..l}$	纵卷叶螟 被捕食数 $Y_{C..m}$
1		1	1	1	1	1	1	9	1	
2		1	1	1	1	1	2	15	1	
3		1	1	1	1	2	1	18	2	
4		1	1	1	1	2	2	6	0	
5		1	1	2	2	1	1	25	1	
6		1	1	2	2	1	2	9	2	
7		1	1	2	2	2	1	5	2	
8		1	1	2	2	2	2	25	4	
9		1	2	1	2	1	2	20	0	
10		1	2	1	2	1	1	8	1	
11		1	2	1	2	2	1	6	3	
12		1	2	1	2	2	1	23	0	
13		1	2	2	1	1	2	4	1	
14		1	2	2	1	1	1	26	1	
15		1	2	2	1	2	2	15	2	
16		1	2	2	1	2	1	8	2	
17		2	1	1	2	1	1	13	1	
18		2	1	1	2	1	2	5	0	
19		2	1	1	2	2	1	5	0	
20		2	1	1	2	2	2	15	1	
21		2	1	2	1	1	1	5	0	
22		2	1	2	1	1	2	18	0	
23		2	1	2	1	2	1	20	1	
24		2	1	2	1	2	2	8	1	
25		2	2	1	1	1	2	5	0	
26		2	2	1	1	1	1	14	0	
27		2	2	1	1	2	2	20	1	
28		2	2	1	1	2	1	6	0	
29		2	2	2	2	1	2	20	0	
30		2	2	2	2	1	1	6	1	
31		2	2	2	2	2	1	6	2	
32		2	2	2	2	2	1	18	1	
飞虱被捕食极差 R		-38	+4	+30	+12	+2	-12	+204		
纵卷叶螟被捕食极差 R		-14	-2	+10	+6	+12	+4	0		

* 为简化表内项目,把交互列省去,物种间交互作用参见图 3、图 4。

$P_1 = P_2 = 1, P_3 = 2, P_4 = 2, P_5 = 1, P_6 \in [10, 30]$; 稻纵卷叶螟幼虫被捕食数最大的优良生物序为: $P_1 = P_2 = 1, P_3 = P_4 = P_5 = 2, P_6 \in [2, 4]$ 。即狼蛛、食虫沟瘤蛛以低水平为好,管巢蛛、肖蛸、隐翅虫以高水平为好,它有别于多数文献报道的天敌越多害虫被捕食越多。

2.7 物种共存系统的添加试验结果分析: 江苏响水(淮北)和句容(苏南)两稻区天敌

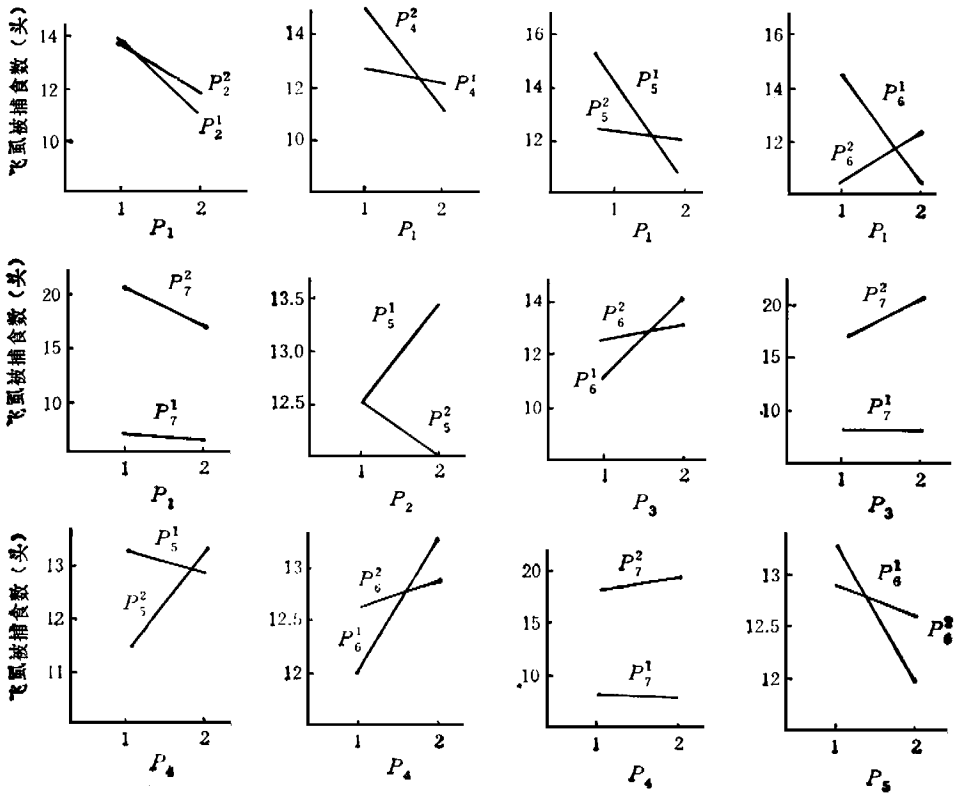


图3 天敌密度与飞虱被捕食的交互作用

各物种代号参见表3, P_i^1 、 P_i^2 分别表示 P_i 的1、2水平

表4 7物种共存系统的添加试验结果*(模拟淮北稻区情况)

处理	物种	拟水狼蛛 P_1	食虫沟瘤蛛 P_2	棕管巢蛛 P_3	前齿肖蛸 P_4	隐翅虫 P_5	纵卷叶螟幼虫 P_6	飞虱 P_7	纵卷叶螟被捕食数 $Y_{c.m}$	飞虱被捕食数 $Y_{N.I}$
1		1	1	1	1	1	4	30	1.0	10.7
2		3	1	1	1	1	4	30	1.3	18.3
3		1	3	1	1	1	4	30	1.3	15.6
4		1	1	3	1	1	4	30	3.0	14.0
5		1	1	1	3	1	4	30	2.7	8.7
6		1	1	1	1	3	4	30	0.7	9.7

* 表内数字均为每穴头数。

种类基本差不多,只是句容在水稻生长后期盗蛛、球蛛和跳蛛较多,而淮北较少。

(1) 模拟淮北稻区结果分析

试验结果如表4。 P_6 和 P_7 分别为每穴4头、30头时,狼蛛、食虫沟瘤蛛、管巢蛛密度增加2倍,飞虱被捕食数有所增加;肖蛸和隐翅虫密度增加2倍,飞虱被捕食数与对照基本相近(表4资料方差分析处理间差异显著);天敌密度增加对稻纵卷叶螟被捕食的效应以管巢蛛和肖蛸最明显。这与正交试验结果基本相似。

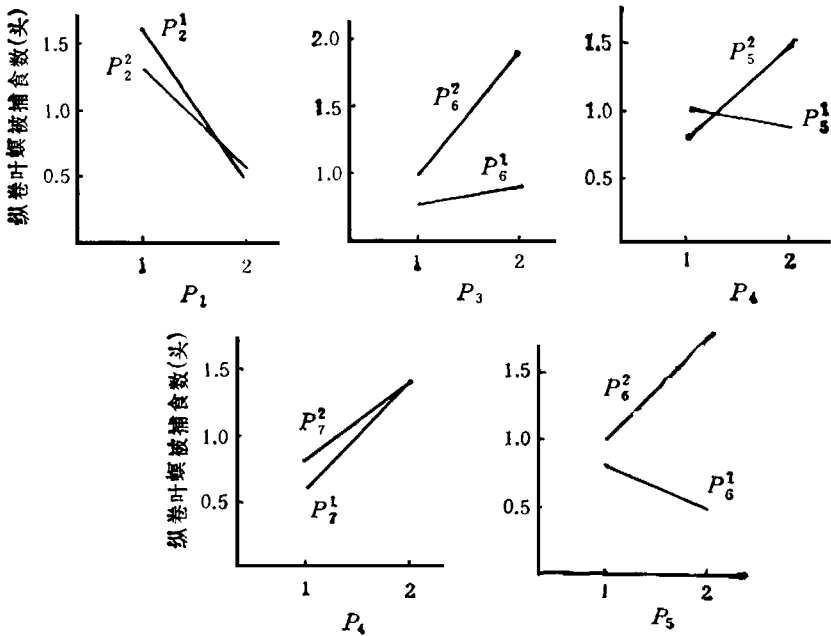


图 4 天敌与纵卷叶螟幼虫被捕食的交互作用
各物种代号参见表 3, P_i^1 、 P_i^2 分别表示 P_i 的 1、2 水平

表 5 7 种天敌共存系统的添加试验结果*(模拟苏南稻区情况)

试号	物种 拟水狼蛛 P_1	食虫沟瘤蛛 P_2	棕管巢蛛 P_3	菱头蛛 P_4	隐翅虫 P_5	盗蛛 P_{13}	球蛛 P_{10}	飞虱 P_7	飞虱被 捕食数 $\bar{Y}_{v,1}$
1	1	1	1	1	0	0	0	30	18.3
2	1	1	1	1	1	0	0	30	16.0
3	1	1	1	1	3	0	0	30	18.0
4	1	1	1	1	0	1	0	30	13.3
5	1	1	1	1	0	3	0	30	18.0
6	1	1	1	1	0	0	1	30	18.6
7	1	1	1	1	0	0	3	30	15.5

* 表内数字为每穴头数。

(2) 模拟苏南稻区结果分析

1987—1988 我们已建立了苏南稻区(句容)拟水狼蛛、食虫沟瘤蛛、棕管巢蛛、菱头蛛、褐飞虱共存系统捕食量模型并进行了种间种内关系分析(吴进才等,1991)。除上述 4 种蜘蛛外,在共存系统中再添加水稻中后期常见的盗蛛、球腹蛛、隐翅虫,是否能增加捕食量。试验结果见表 5。经方差分析,处理间差异不显著。表明在 4 种蜘蛛的共存系统中再增加盗蛛、球蛛、隐翅虫对飞虱的捕食效应不明显,也可以认为建立主要几种天敌的捕食量模型基本上能代表稻田飞虱被捕食情况。

3.7 物种共存系统的排除试验结果分析: 试验结果如下(表 6)。

经统计分析,处理间差异不显著。但排除管巢蛛时稻纵卷叶螟被捕食数最低,与添加

表 6 7 物种共存系统的排除试验结果*

物种 试号	拟水狼蛛 P_1	食虫沟瘤蛛 P_2	棕管巢蛛 P_3	前齿肖蛸 P_4	隐翅虫 P_5	纵卷叶螟 幼虫 P_6	飞虱 P_7	纵卷叶螟 幼虫被捕 食数 $\bar{Y}_{c.m}$	飞虱被 捕食数 $Y_{N.1}$
1	0	2	2	2	2	4	30	1.7	12.3
2	2	0	2	2	2	4	30	1.7	14.7
3	2	2	0	2	2	4	30	0.3	14.0
4	2	2	2	0	2	4	30	1.3	13.7
5	2	2	2	2	0	4	30	0.7	13.7

* 表内数字为每穴头数。

试验和正交试验结果一致。这主要是由于种间种内的干扰残杀作用,使得在多物种共存系统中增加某物种或密度不能显著地增加捕食量;反之,减少某物种可增强系统中其余种的作用不会显著地减少捕食量(除非该物种是系统中的关键种 keystone species)。

讨 论

在多物种共存系统中,每种天敌均有一定的栖境生态位或称空间生态位,在田间与它们的活动范围相对应,也与各天敌物种的捕食对象相对应。选用适合的试验设计方法,有可能确定共存系统主要天敌物种的控制对象猎物及控制作用大小。经初步的试验研究狼蛛、跳蛛、盗蛛、微蛛主要捕食飞虱;肖蛸主要捕食纵卷叶螟;管巢蛛对两种害虫均具有较好的控制作用。

多物种共存系统种间种内关系的研究,对保护利用天敌、协调化学防治和生物控制的矛盾具有重要的理论和实践意义。例如在大量的生物防治实践中,有的效果较好,也有许多效果不够理想甚至失败。原因之一可能就是种间种内关系不够明确。一个多物种共存系统,各物种应具有一定的配置比例,即具一个优良的生物序,此时害虫被捕食量将会达到最大值。笼统地提倡保护增殖天敌和抨击化学农药杀伤一部分天敌是缺乏严格的科学依据的。作者多年来研究的结果基本一致认为在猎物低密度时,种间种内残杀严重,害虫被捕食量并非随天敌密度增加而增加(吴进才,1991;吴进才等,1991),因而化学农药防治害虫时杀伤少量的天敌可能是无害的。

参 考 文 献

- 戈峰、陈常铭 1990 水稻-褐飞虱-八斑球腹蛛生态系统的能流。生态学报 10(2): 167-72。
 王洪全、李发荣 1987 稻田微蛛周年性活动的研究。湖南师范大学学报(自然科学版) 10(1): 73-81。
 李超、丁岩钦、马世骏 1982 草间小黑蛛对棉铃虫幼虫的捕食作用及其模拟模型的研究 I. 捕食者-单种猎物系统的研究。生态学报 2(1): 239-55。
 李超、丁岩钦、马世骏 1982 草间小黑蛛对棉铃虫幼虫捕食作用及其模拟模型的研究 II. 捕食者-多种猎物系统的研究。生态学报 2(2): 363-75。
 祁彪 1990 稻田蜘蛛消长动态及其对稻飞虱控制效应研究。江苏农业科学 (4): 29-31。
 吴进才、庞雄飞 1991 多物种复合种群捕食量的数学模型及其在褐稻虱数量预测中的应用。生态学报 11(2): 139-46。
 吴进才 1991 稻田捕食性天敌种间相互作用的初步研究。江苏农学院学报 (1): 47-55。
 张永强等 1981 稻田生态系统蜘蛛种群动态初步研究。植物保护学报 8(2): 101-10。
 张永强 1989 农田蜘蛛群落结构及其多样性研究。生态学报 9(2): 155-62。

- 周集中、陈常铭 1987 捕食者对猎物选择性的数量测定方法。生态学报 6(3): 238—47。
- 罗肖南、卓文禧 1986 稻田飞虱与天敌数量消长关系及其自然控制作用考查。昆虫天敌 8(2): 72—9。
- 湖南师范学院生物系、湘阴县农业局 1980 稻田蜘蛛消长及其相关性探讨。昆虫天敌 2(3): 31—8。
- Akre, B. G & D. M. Jobson 1979 Switching and sigmoidal function response curves by damselfly naiads with alternate prey available. *J. Anim. Ecol.* 48: 703—20.
- Colton, T. F. 1987 Extending functional response models to include a second prey type: An experimental test. *Ecology* 68(4): 900—12.
- Holling, C. S. 1961 Principles of insect predation. *Ann. Rev. Entomol* 6: 163—82.
- Gutierrez, A. P. & J. U. Baumgaertner 1984a Multitrophic level models of predator prey energetics. I. Age-specific energetics models—pea aphid *Acyrtosiphon pisum* (Harris) (Homoptera: Aphididae) as an example. *Can. Ent* 116: 924—32.
- 1984b Multitrophic level models of predator prey energetics. II. A realistic model of plant-parasitoid-predator interactions. *Can Ent* 116: 933—49.
- Maly, E. J. 1975 Interaction among the predatory rotifer *Asplan chna* and two prey. *Ecology* 56: 346—58.
- Wadeb, Worthen 1989 Predator-mediated coexistence in laboratory communities of myphagous *Drosophila* (Diptera: Drosophilidae). *Ecological Entomology* 14: 117—26.

HABITAT NICHE AND PREDATION EFFECT OF NATURAL ENEMIES OF INSECT PESTS IN PADDY FIELD

WU JIN-CAI LU ZI-QIANG

(Department of Plant Protection, Jiangsu Agricultural College, Yangzhou 225001)

YANG JIN-SHENG SHU ZHAO-LIN

(Zheng Jiang Institute of Agricultural Sciences for Jiangsu Hilly District, Jurong 212400)

This paper deals with the habitat niche of planthoppers and their predators on rice plant and studied the relationship between the habitat niche and the predation effect in the coexistence system containing two insect pests and five species of predators. The results showed that in the system investigated the magnitude of positive main effect of predation on brown planthoppers (*Nilaparvata lugens*) varied with species in a diminishing order as follows. *Clubiona japonicola*, *Paederus fuscipes*, *Tetragnatha praedonia*, and *Ummeliata insecticeps*; while *Pirata subpiraticus* exhibited the highest negative effect. The sequence of intensity of positive main effect on rice leaf rollers (*Cnaphalocrocis medinalis*) was *C. japonicola*, *T. praedonia* and *P. fuscipes*. It had been found that *P. subpiraticus*, *U. insecticeps* and *Bianor hotingchiehi* mainly preyed on planthoppers, *T. praedonia* on rice leaf rollers and *C. japonicola* was important for the control of the both pests. These were consistent with their habitat niche (niche width). Under a certain prey density, the predation effect of the predators reached a maximum when there was a good biological order (i.e. optimal proportion of various species). The results from experiments using addition and exclusion methods indicated that increase in predator density could not increase the number of prey taken in a coexistence system with a defined density in each species. It is believed to be due to the interactions between inter-species and intra-species.

Key words habitat niche—predation effect—predator—paddy field