

# 稻田节肢动物群落优势功能集团的垂直分布、数量动态及天敌作用估计\*

郝树广\*\* 张孝羲 程遐年 (南京农业大学植物保护系, 南京 210095)

**【摘要】** 研究了稻田节肢动物群落中优势功能集团的垂直空间分布和数量动态规律. 结果表明, 狼蛛的分布范围不象过去认识的那样广, 而是主要分布在稻株的中下部. 蜘蛛也不仅仅限制在稻株叶冠层, 其在受到农药干扰后, 向下部转移. 顶位物种与基位物种垂直空间分布的相关性不大. 在稻田内影响天敌对褐飞虱种群动态控制作用大小的因素, 除了天敌的数量之外, 尚有天敌与褐飞虱的空间分布特征, 褐飞虱占天敌食谱中的比例等. 提出了包含天敌、褐飞虱、中性昆虫的数量动态、空间分布、取食特性等信息的评价天敌作用的模型.

**关键词** 节肢动物群落 功能集团 种群动态 垂直分布

**Vertical distribution and quantitative dynamics of dominant functional groups of arthropod community in rice fields and estimation of natural enemy effects.** HAO Shuguang, ZHANG Xiaoxi and CHENG Xianian (Department of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095). - Chin. J. Appl. Ecol., 2000, 11(1): 103~ 107.

The study showed that Lycosid (wolf spider) mainly distributed in the basal part of rice plants, not as wide as we know in past. Tetragnathid did not limited in the upper part of plants, but might translate to middle or lower part when affected by insecticide. The relationship between the vertical distributions of top and basal species was not significant. Besides the amount of natural enemies, the spatial distribution characteristics of natural enemies and brownplanthopper, and the proportion of brownplanthopper to total preys of natural enemies were the factors affecting the role of natural enemies on the population dynamics of brownplanthopper in rice fields. A model to evaluate the effect of natural enemies to brownplanthopper was put forward, which included the messages of quantitative dynamics, spatial distribution and feeding characteristics of natural enemies, brownplanthopper and neutral insects.

**Key words** Arthropod community, Functional group, Population dynamics, Vertical distribution.

## 1 引言

稻田节肢动物群落是一个以水稻为中心的多种害虫、天敌、中性昆虫共存的复杂网络系统, 而天敌与害虫在空间上的同域性(Symparty)、时间上的同步性(Synchrony)和数量上的优势性(Dominant)是发挥其控制功能的决定条件. 在以往众多的文献中, 对天敌作用的评价主要是基于天敌与害虫的数量消长相关性、实验室的功能反应模拟、取食选择性、生命表分析以及血清反应<sup>[1~9, 12~20]</sup>等几种方法, 对群落的研究多集中在群落的物种组成、多样性和相似性的变化方面. 而在功能集团的组织结构层次上分析比较空间、时间分布、数量波动并评价分析天敌对害虫的控制能力的文献还很少见到. 因此本文以 1995~ 1996 年在安徽省安庆地区不同类型稻田节肢动物群落的系统调查资料为基础, 以功能集团为单位, 从营养关系、空间垂直分布、时间数量动态等方面探讨稻田节肢动物群落的结构变化, 并通过模型化方法定量地分析评价天敌对褐飞虱的控制效果.

## 2 材料与方法

### 2.1 调查田状况

1995 年为双季稻田, 分为防治与不防治 2 类田块, 各为 1000m<sup>2</sup> 左右, 早稻田用药时间为 6 月 22 日, 晚稻田用药时间为 8 月 21 日. 40% 甲胺磷乳油 100g + 20% 杀虫双乳油 200g • 667m<sup>-2</sup> 机动喷雾. 早稻品种为舟 903(汕稻), 晚稻品种为 88123(粳稻). 以调查群落结构和多样性动态为主. 1996 年为单季中稻和双季稻同时调查, 单季中稻品种为汕优 63. 早稻田用药时间为 6 月 21 日用久效磷, 7 月 18 日用 40% 甲胺磷乳油 100g + 20% 杀虫双乳油 200g • 667m<sup>-2</sup>, 晚稻田用药时间为 8 月 16 日, 品种和方法与 1995 年相同. 以生态位、营养层结构调查为主.

### 2.2 调查方法

1995 年使用吸虫器和盆拍相结合, 1996 年用盆拍和目测相结合. 分为定点系统调查和大范围随机普查. 盆拍法(35cm × 55cm), 每次盆拍平行跳跃式取样 20 点, 每点 1 穴稻; 吸虫器法(暴立正等, 1983 由机动喷雾器改装), 吸虫器随机取样 10 点, 每点 2 穴; 目测法将稻株分为上部叶冠层、中部茎秆层和基部

\* 国家 PD 计划项目(85- 31- 30).

\*\* 通讯联系人. 现在中国科学院动物研究所, 北京 100080. 1998- 03- 31 收稿, 1999- 03- 19 接受.

水面3部分,轻轻拨开稻丛,计数各部分的物种及数量,每次查20穴.系统调查,3~5d1次.随机普查主要是郊区叶祠乡的多块农户生产田,每15d1次,取样方法同系统调查.均记录取到的种类和数量.

3 结果与分析

3.1 垂直空间分布结构

结果表明不同功能集团在稻株上的垂直空间分布上是不同的(表1).顶位物种中的狼蛛、跳蛛、隐翅虫主要分布在下部,棕管巢蛛、蟹蛛分布在上中部.中位

表1 稻田节肢动物群落中功能团在稻株上的垂直空间分布(分布数/总数量)

Table 1 Vertical distribution of dominant guilds of arthropod in rice fields(distributed number/ total number)

功能集团 Guilds	双早稻田 Early plant rice				双晚稻田 Late plant rice					
	不用药田 Unspraying field		用药田 Spraying field		不用药田 Unspraying field			用药田 Spraying field		
	上部 Upper	下部 Lower	上部 Upper	下部 Lower	上部 Upper	中部 Middle	下部 Lower	上部 Upper	中部 Middle	下部 Lower
1	0.0455	0.9545	0.0345	0.9655	0.0426	0.3830	0.5744	0.0313	0.2891	0.6797
2	0.125	0.875	0.5	0.5	0.0290	0.2464	0.7246	0.0	0.2857	0.7143
3	1.0	0.0	0.0	1.0	0.2857	0.5714	0.1429	0.5	0.5	0.0
4	0.6667	0.3333	1.0	0.0	0.56	0.28	0.16	0.4167	0.4583	0.125
5	0.1304	0.8696	0.0789	0.9211	0.0	0.5862	0.4138	0.1818	0.5455	0.2270
6	0.0704	0.9296	0.0916	0.9084	0.0635	0.2778	0.6587	0.0219	0.2409	0.7372
7	0.42	0.58	0.5	0.5	0.3170	0.5229	0.1601	0.1227	0.3916	0.4856
8	0.375	0.625	0.3	0.7	0.1111	0.4444	0.4445	0.0303	0.4242	0.5455
9	0.2	0.8	0.0	1.0	0.0435	0.5652	0.3913	0.1935	0.4516	0.3548
10	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4082	0.3469	0.2449	0.4516	0.3871	0.1613
11	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.4706	0.5294	0.1176	0.4118	0.4706
12	0.375	0.625	0.5	0.5	0.0	0.0833	0.9167	0.0	0.3333	0.6667
13	0.2075	0.7925	0.1231	0.7925	0.1389	0.2778	0.5833	0.2308	0.3846	0.3846
14	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0802	0.2170	0.7028	0.0385	0.2615	0.7000
15	0.0353	0.9647	0.2	0.8	0.1074	0.3891	0.5035	0.0527	0.5911	0.3562
16	0.5848	0.4516	0.6071	0.3929	0.1667	0.6667	0.1666	0.04	0.28	0.6800
17	0.7143	0.2857	0.8015	0.1985	0.8824	0.0	0.1176	1.0	0.0	0.0000
18	0.4571	0.5429	0.1594	0.8406	0.3945	0.4359	0.1696	0.4277	0.3867	0.1855

1. 狼蛛 Lycosid; 2. 跳蛛 Saltucuid; 3. 棕管巢蛛 *Clubiona japonicola*; 4. 蟹蛛 Thomisud; 5. 隐翅虫 Staphinid; 6. 微蛛 Micryphantid; 7. 蛸蛛 Tetragnathid; 8. 圆蛛 Neoscona spp.; 9. 球腹蛛 Colosoma spp.; 10. 瓢虫 Coccinellid; 11. 黑肩绿盲蝽 *Cryptorhinus lividipennis*; 12. 尖沟宽尾蝽 *Microvelia horvathi*; 13. 步甲 Carabid; 14. 褐飞虱 BPH; 15. 白背飞虱 WBPH; 16. 螟类 *Cnaphlocrocis medinalis*; 17. 蝇蚊 Diptera; 18. 其它 Other neutral insects.

3.2 垂直空间分布的时序变化

结果表明(表2),顶位物种较稳定,在水稻的整个生长季中始终以基部分布为主,中上部占的比例不大,顶位物种中的优势类群为狼蛛、跳蛛和隐翅虫,说明这3类天敌的空间活动范围变化并不强;中位物种在中上部的分布比例随时间波动没有规律,该营养层的优势类群为微蛛、蛸蛛、黑肩绿盲蝽等.由于晚稻田中的蛸蛛数量增加,使得中上部分布的比例较早稻高.基位物种空间分布的波动性较大,早稻田中,水稻生长前期以上部分布为主,后期以下部分布为主,该营养层中以中性昆虫和白背飞虱为优势类群,前期以双翅目种类为主,后期以白背飞虱为主.晚稻田中,以白背飞虱和褐飞虱、跳虫为优势类群,前期以白背飞虱为主,后期以褐飞虱为主,在空间分布上始终以下部分布为主,波动性不大.经不同时间分布比例的相关性分析(表3)说明,在不防治田中顶位物种和中位物种在稻株上的

物种中的微蛛、球腹蛛、黑肩绿盲蝽、步甲等主要分布在下部,而瓢虫、蛸蛛、圆蛛则分布在上中部.基位物种的白背飞虱、褐飞虱主要分布在下部,而螟类、蝇蚊成虫则分布在上中部.不同营养层中的优势类群在空间分布上是分离的,不至于因处于同一生态位中造成激烈的竞争.

用药与不用药田比较,用药对垂直分布的影响不明显.只有双晚田中的蛸蛛和圆蛛等类群在下部的分布比例升高,可能与上部着药量大,食物短缺,使其向下部转移有关.其它种类上部分布的比例稍降低.

垂直分布与基位物种的分布间的相关系数很小,不存在明显的分布相随性.只有顶位与中+基在稻株中的相关性显著.但在防治田中,相关性增加,在早稻田中,中位与基位相关显著,顶位和基位相关显著;晚稻田中,只有中位和基位相关显著.说明田间用药,不仅会对节肢动物数量有杀伤作用,而且对其空间分布也有影响,可能是用药使食物数量降低,从而增加了天敌对食物分布的依赖性.用药田和不用药田比较,用药对顶位物种分布的影响很小,对中位和基位物种的影响较大,由于用药后优势类群死亡量大,各部位的分布比例趋于均匀.但随着用药后时间的延长和群落的恢复,空间分布又趋同于不用药田的规律.这一结果说明,稻田节肢动物群落的建立和发展规律与水稻生长期是密切相关的.各营养层中个体的垂直空间分布特征是种内的生态行为特性,与基位物种的空间分布无明显的直接联系.这在某种程度上说明多食性蜘蛛对食物的

表 2 稻田节肢动物群落不同营养层空间分布的时序变化  
Table 2 Temporal variation of vertical distribution of different arthropod nutrient classes in rice field

调查日期 Sampling date	不用药田 Unspraying field									用药田 Unspraying field								
	上位物种 Top species			中位物种 Intermediate species			基位物种 Basal species			上位物种 Top species			中位物种 Intermediate species			基位物种 Basal species		
	上 Upper	中 Middle	下 Lower	上 Upper	中 Middle	下 Lower	上 Upper	中 Middle	下 Lower	上 Upper	中 Middle	下 Lower	上 Upper	中 Middle	下 Lower	上 Upper	中 Middle	下 Lower
6. 1	0. 00		1. 00	0. 00		1. 00	0. 72		0. 28	0. 00		1. 00	0. 05		0. 95	0. 67		0. 33
6. 6	0. 25		0. 75	0. 33		0. 67	0. 91		0. 09	0. 20		0. 80	0. 24		0. 76	1. 00		0. 00
6. 11	0. 13		0. 88	0. 00		1. 00	0. 70		0. 30	0. 00		1. 00	0. 19		0. 81	0. 70		0. 30
6. 15	0. 00		1. 00	0. 14		0. 86	1. 00		0. 00	0. 20		0. 80	0. 16		0. 86	0. 45		0. 55
6. 20	0. 00		1. 00	0. 06		0. 94	0. 26		0. 74	0. 00		1. 00	0. 08		0. 92	0. 29		0. 71
6. 28	0. 29		0. 71	0. 24		0. 76	0. 29		0. 71	0. 20		0. 80	0. 35		0. 65	0. 62		0. 38
7. 4	0. 33		0. 67	0. 28		0. 72	0. 58		0. 42	0. 25		0. 75	0. 28		0. 72	1. 00		0. 00
7. 10	0. 08		0. 92	0. 26		0. 74	0. 93		0. 07	0. 00		1. 00	0. 18		0. 82	0. 78		0. 22
7. 17	0. 00		1. 00	0. 07		0. 93	0. 00		1. 00	0. 00		1. 00	0. 00		1. 00	0. 00		1. 00
7. 22	0. 00		1. 00	0. 11		0. 89	0. 20		0. 80	0. 17		0. 83	0. 11		0. 89	0. 39		0. 61
7. 27	0. 17		0. 83	0. 08		0. 92	0. 26		0. 74	0. 00		1. 00	0. 05		0. 95	0. 11		0. 89
8. 15	0. 00	0. 29	0. 71	0. 11	0. 11	0. 78	0. 33	0. 17	0. 50	0. 00	0. 00	1. 00	0. 00	0. 71	0. 29	0. 30	0. 70	0. 00
8. 21	0. 06	0. 12	0. 82	0. 25	0. 46	0. 29	0. 52	0. 00	0. 48	0. 00	0. 00	1. 00	0. 30	0. 25	0. 45	0. 75	0. 06	0. 19
8. 25	0. 11	0. 17	0. 72	0. 41	0. 38	0. 21	0. 14	0. 18	0. 68	0. 00	0. 45	0. 55	0. 28	0. 42	0. 30	0. 10	0. 29	0. 61
8. 30	0. 10	0. 32	0. 58	0. 18	0. 26	0. 56	0. 11	0. 33	0. 56	0. 09	0. 22	0. 69	0. 31	0. 34	0. 35	0. 10	0. 70	0. 20
9. 10	0. 00	0. 59	0. 41	0. 05	0. 64	0. 31	0. 07	0. 44	0. 49	0. 00	0. 41	0. 59	0. 00	0. 26	0. 74	0. 00	0. 66	0. 34
9. 15	0. 18	0. 36	0. 46	0. 30	0. 33	0. 37	0. 09	0. 47	0. 44	0. 00	0. 36	0. 64	0. 00	0. 45	0. 55	0. 00	0. 64	0. 36
9. 20	0. 02	0. 57	0. 41	0. 29	0. 44	0. 27	0. 10	0. 29	0. 61	0. 00	0. 17	0. 83	0. 07	0. 15	0. 78	0. 10	0. 08	0. 82
9. 25	0. 00	0. 33	0. 67	0. 15	0. 10	0. 75	0. 10	0. 25	0. 65	0. 00	1. 00	0. 00	0. 09	0. 24	0. 67	0. 14	0. 14	0. 72
9. 30	0. 02	0. 25	0. 73	0. 31	0. 31	0. 38	0. 14	0. 48	0. 38	0. 00	0. 27	0. 63	0. 05	0. 38	0. 57	0. 14	0. 24	0. 62
10. 5	0. 20	0. 10	0. 70	0. 25	0. 21	0. 54	0. 20	0. 30	0. 50	0. 50	0. 00	0. 50	0. 15	0. 46	0. 39	0. 54	0. 39	0. 07
10. 10	0. 08	0. 31	0. 61	0. 25	0. 46	0. 29	0. 52	0. 30	0. 18	0. 23	0. 38	0. 39	0. 14	0. 47	0. 39	0. 32	0. 06	0. 62
10. 15	0. 18	0. 48	0. 34	0. 35	0. 17	0. 48	0. 30	0. 55	0. 15	0. 33	0. 50	0. 17	0. 14	0. 33	0. 53	0. 42	0. 56	0. 02
10. 21	0. 13	0. 47	0. 40	0. 11	0. 55	0. 34	0. 32	0. 35	0. 33	0. 40	0. 40	0. 20	0. 23	0. 45	0. 32	0. 37	0. 49	0. 14
10. 25	0. 15	0. 31	0. 54	0. 00	0. 47	0. 53	0. 10	0. 35	0. 55	0. 67	0. 33	0. 00	0. 12	0. 03	0. 85	0. 10	0. 15	0. 75
10. 30	0. 06	0. 39	0. 55	0. 31	0. 44	0. 25	0. 19	0. 31	0. 50	0. 31	0. 63	0. 06	0. 17	0. 53	0. 30	0. 16	0. 55	0. 29

表 3 稻田群落不同营养层空间分布的相关性  
Table 3 Relationship of vertical distributions between different nutrient classes of arthropod in rice fields

相关项目 Related components	双季早稻 Early plant field				双季晚稻 Late plant field			
	防治田 Spraying field		不防治田 Unspraying field		防治田 Spraying field		不防治田 Unspraying field	
顶-基 Top basal	上-上 Upper upper	0. 4829	0. 1061		0. 2395		0. 0297	
	中-中 Middle middle				0. 0554		0. 4914	
	下-下 Lower lower	0. 4829	0. 1061		- 0. 2155		0. 3395	
中-基 Middle basal	上-上 Upper upper	0. 7434* *	0. 3437		0. 4308		0. 1040	
	中-中 Middle middle				0. 5138*		0. 0127	
	下-下 Lower lower	0. 7434* *	0. 3437		0. 5940*		0. 1485	
顶-中+基 Top middle+ basal	上-上 Upper upper	0. 5650*	0. 3008		0. 2537		0. 1463	
	中-中 Middle middle				- 0. 1129		0. 5642*	
	下-下 Lower lower	0. 5514	0. 2883		- 0. 2212		0. 3453	
顶-中 Top middle	上-上 Upper upper	0. 6842*	0. 6770*		0. 1827		0. 2120	
	中-中 Middle middle				- 0. 1631		0. 3496	
	下-下 Lower lower	0. 6842*	0. 6770*		- 0. 1729		0. 1429	

\* P< 0. 05, \* \* P< 0. 01.

捕食是随机的, 选择性不强(尤其是顶位物种). 活动性较强的狼蛛类, 其空间分布较稳定, 不随基位物种的分布而变化, 说明一定存在着替代食物满足其生存的需要. 也就证实这类天敌对飞虱的控制作用不能简单地用数量消长的益害比来评价, 其作用的大小应随飞虱数量及其在蜘蛛的整个食物谱中的比重而变化.

3.3 稻田节肢动物群落优势功能集团的数量动态

对优势功能集团的数量波动规律用方程  $N = A \times T^{(C-1)} \times \text{EXP}(- (T/B)^C)$  来模拟, 此方程为 Weibull 函数的求导形式, 函数图形是一条单峰值曲线. 式中 A、B、C 为模型参数, N 为种群数量, T 为移栽后日期.

用无约束单纯形法求解模型参数<sup>[10]</sup>, 以卡平方( $X^2$ ) 值最小为目标函数,  $X^2 = \sum (N - N^*)^2 / N^*$ , N 为观测值,  $N^*$  为模拟值, 模拟结果见表 4. 从数量动态及模拟结果看, 顶位和中位物种数量稳定, 变化规则, 模拟效果较好. 而基位物种中由于波动性大, 及取样上的误差, 使模拟结果差异较大, 尤其是褐飞虱和白背飞虱数量消长极不规律, 说明制约其数量波动的因素较多, 需建立其自身的种群动态模型.

3.4 天敌作用评价模型

根据前人的报道和本文对稻田群落的数量动态、时间、空间结构分析, 可以认为天敌对食物的选择程度

表 4 稻田节肢动物群落优势集团数量波动模型的参数  
Table 4 Parameters of population dynamic models of dominant guilds of arthropod in rice fields

稻田类型 Types of rice field	生物类群 Guilds	1995				1996			
		A	B	C	X <sup>2</sup>	A	B	C	X <sup>2</sup>
双季早稻 Earlyplant rice	顶位物种 Top species	3. 80E- 04	96. 1879	3. 7040	23. 5035*	0. 2792	70. 3684	2. 1483	31. 6354
	中位物种	1. 31E- 03	70. 1887	3. 9883	78. 1472	0. 5594	86. 1725	2. 1754	4. 3735*
	Intermediate species								
	白背飞虱 WBPH	1. 19E- 07	969. 083	6. 0131	116. 929				
	褐飞虱 BPH	1. 19E- 07	969. 083	5. 4428	42. 9006				
	其它中性物种					2. 7623	50. 6631	1. 8024	49. 162
双季晚稻 Late plant rice	Other intermediate species								
	顶位物种 Top species	0. 1464	79. 871	2. 3467	21. 4317*	0. 0063	67. 0691	3. 3364	7. 6386*
	中位物种	1. 3598	208. 808	1. 9504	66. 4718	0. 1217	78. 4720	2. 5801	53. 922
	Intermediate species								
	黑肩绿盲蝽 <i>Cryptorhynchus lividipennis</i>	1. 04E- 06	84. 749	5. 3937	144. 737				
	白背飞虱 WBPH	7. 62E- 04	74. 100	3. 5923	45. 1613	0. 0012	60. 4138	4. 2075	883. 361
单季中稻 Middle plant rice	褐飞虱 BPH	1. 04E- 06	94. 898	5. 5581	697. 9065				
	其它中性物种					1. 94E- 07	80. 4738	5. 819	112. 539
	Other intermediate species								
	顶位物种 Top species					3. 14E- 06	91. 5472	4. 909	60. 4351
	中位物种					81. 9554	1411. 989	0. 9104	30. 966*
	Intermediate species								
	白背飞虱 WBPH					40. 1248	36. 9808	2. 0906	355. 784

\* P< 0. 05.

是与食物的丰富度有关的. 天敌对某一种食物的嗜好性表现为在时、空生态位的占有上与该食物趋同. 广食性种类在特定的生态位中或者小生境中对食物的选择常呈随机性, 而非广食性天敌对食物的选择在行为上的表现是对栖息地或者生态位的选择. 通过对时空分布的分析, 结合其数量消长、食量大小、生境中食物成分的组成, 就可定量地描述天敌对害虫的控制作用.

根据张古忍等<sup>[1]</sup>及我们的研究结果, 稻田节肢动物群落在空间分布上至少可以分为 3 个部分, 即叶冠层、茎秆层、基部. 由于褐飞虱生活在稻株茎秆和基部, 所以活动于叶冠和水下的天敌对褐飞虱不起作用. 活动于稻株茎秆及基部的天敌中, 食性广谱的顶位物种主要有狼蛛、跳蛛、纵管巢蛛和隐翅虫, 在此以狼蛛为代表. 食性广谱的中位物种主要有微蛛、蛸蛛、球腹蛛, 以微蛛为代表. 食性较窄的中位物种主要有黑肩绿盲蝽和寄生蜂. 该类天敌食性专化性较强, 其对褐飞虱的控制作用可根据其数量消长和功能反应特性估计.

根据各营养层的数量动态模型, 可以得到水稻移栽后  $T$  天的第  $j$  类群的总数量  $N_j(T)$ . 根据不同营养层在水稻植株上的分布特性, 可以得到在水稻第  $i$  位置、第  $j$  类群的分布概率  $P_{ij}$ . 那么, 各营养层在水稻不同部位的数量为:  $N_{ij}(T) = N_j(T) \cdot P_{ij}$  个体数量.

水稻不同部位顶位物种的总食饵数为:

$$\begin{aligned}H_{上顶} &= N_{上中} + N_{上黑} + N_{上褐} + N_{上白} + N_{上中性}; \\H_{中顶} &= N_{中中} + N_{中黑} + N_{中褐} + N_{中白} + N_{中中性}; \\H_{下顶} &= N_{下中} + N_{下黑} + N_{下褐} + N_{下白} + N_{下中性}.\end{aligned}$$

水稻不同部位中位物种的总食饵数为:

$$H_{上中} = N_{上褐} + N_{上白} + N_{上中性};$$

$$H_{中中} = N_{中褐} + N_{中白} + N_{中中性};$$

$$H_{下中} = N_{下褐} + N_{下白} + N_{下中性}.$$

天敌对食饵的功能反应方程为:

$$Ha = a \cdot H / (1 + Th \cdot H)^{[5, 13, 14, 16]}$$

式中  $Ha$  是被捕食的猎物数;  $H$  是猎物总数;  $a$ 、 $Th$  是方程参数.

顶位物种作用后的存活率  $S_{顶}$  为:

$$\begin{aligned}S_{上顶} &= (1 - Ha_{上顶}/H_{上顶})^{N_{上顶}}; \\S_{中顶} &= (1 - Ha_{中顶}/H_{中顶})^{N_{中顶}}; \\S_{下顶} &= (1 - Ha_{下顶}/H_{下顶})^{N_{下顶}}; \\S_{顶} &= (S_{上顶} \cdot N_{上褐} + S_{中顶} \cdot N_{中褐} + \\&\quad S_{下顶} \cdot N_{下褐})/N_{褐}.\end{aligned}$$

中位物种作用后的存活率  $S_{中}$  为:

$$\begin{aligned}S_{上中} &= (1 - Ha_{上中}/H_{上中})^{N_{上中}}; \\S_{中中} &= (1 - Ha_{中中}/H_{中中})^{N_{中中}}; \\S_{下中} &= (1 - Ha_{下中}/H_{下中})^{N_{下中}}; \\S_{中} &= (S_{上中} \cdot N_{上褐} + S_{中中} \cdot N_{中褐} + \\&\quad S_{下中} \cdot N_{下褐})/N_{褐}.\end{aligned}$$

黑肩绿盲蝽作用后卵的存活率为:

$$\begin{aligned}S_{上黑} &= (1 - Ha_{上卵}/H_{上卵})^{N_{上黑}}; \\S_{中黑} &= (1 - Ha_{中卵}/H_{中卵})^{N_{中黑}}; \\S_{下黑} &= (1 - Ha_{下卵}/H_{下卵})^{N_{下黑}}; \\S_{黑} &= (S_{上黑} \cdot N_{上卵} + S_{中黑} \cdot N_{中卵} + \\&\quad S_{下黑} \cdot N_{下卵})/N_{卵}.\end{aligned}$$

寄生蜂作用后卵的存活率为:

$$S_{\text{上寄}} = (1 - Ha_{\text{上卵}}/H_{\text{上卵}})^{N_{\text{上寄}}};$$

$$S_{\text{中寄}} = (1 - Ha_{\text{中卵}}/H_{\text{中卵}})^{N_{\text{中寄}}};$$

$$S_{\text{下寄}} = (1 - Ha_{\text{下卵}}/H_{\text{下卵}})^{N_{\text{下寄}}};$$

$$S_{\text{寄}} = (S_{\text{上寄}} \cdot N_{\text{上卵}} + S_{\text{中寄}} \cdot N_{\text{中卵}} + S_{\text{下寄}} \cdot N_{\text{下卵}})/N_{\text{卵}}.$$

天敌作用后,成、若虫存活率为:  $S = S_{\text{中}} \cdot S_{\text{顶}}$ . 卵的存活率为:  $S = S_{\text{黑}} \cdot S_{\text{寄}}$ .

#### 4 结 语

上述结果表明,稻田节肢动物群落中各功能集团在稻丛上的垂直分布有一定的规律性.天敌与对应食物空间分布的相关性较大,表明各功能集团在空间占领上的差异和多维生态位的分离,空间分布限制了其食性,空间分布是取食特性的具体表现.在不同生长季节的稻田中,各功能集团的数量动态和空间分布也不同,说明各生长季的稻田节肢动物群落在组成结构上是有差异的.稻田节肢动物群落中各功能集团在空间生态位上的表现主要是生活场所上的差异,从害虫方面来讲,螟虫为钻蛀性,生活于水稻组织中,飞虱为稻株茎基部,叶蝉为上部叶片及叶鞘,蓟马为秧苗期稻丛;天敌方面讲,主要分布于稻株中下部的狼蛛、隐翅虫和微蛛,中上部的蜘蛛和圆蛛和球腹蛛.这就说明了不同种类的生活场所与其生活习性间的密切联系,生活场所决定着特定的生活习性,而具有某种习性的种类又选择相应的生活场所.将稻丛分为不同的垂直空间生态位,在每一生态位中包含的害虫与天敌的种类数少,结构简单,种间关系较明确,易于进行量化地描述和分析.本文所建立的评价天敌对害虫作用的模型经在褐飞虱种群动态系统模拟中应用及灵敏度分析,能够较好地对各类天敌的效果进行定量估计,从而得到微蛛、黑肩绿盲蝽和寄生蜂是控制褐飞虱种群动态的关键天敌因素.

#### 参考文献

- 1 王荣富、程遐年等. 1997. 褐飞虱与白背飞虱共栖的互作效应. 应用生态学报, 8(4): 391~ 395
- 2 包华理. 1992. 捕食性天敌对褐稻虱种群的控制作用. 青年生态学者论丛, (1): 266~ 271
- 3 汤鉴球、周汉辉. 1983. 用血清清方法研究稻田蜘蛛的捕食效应. 昆虫天敌, 5(4): 207~ 214
- 4 祁 彪. 1990. 稻田蜘蛛消长动态及其对稻飞虱控制效应的研究. 江苏农业科学, (4): 29~ 31
- 5 严英俊、吴中孚. 1989. 草间小黑蛛对褐稻虱的捕食作用及模拟模型. 福建农学院学报, 18(3): 189~ 194
- 6 杨云峰、古德祥、周之铭. 1990. 稻田蜘蛛空间生态位的初步研究. 昆虫天敌, 12(3): 108~ 112
- 7 吴进才、陆自强、杨金生. 1993. 稻田主要捕食性天敌的栖境生态位与捕食作用分析. 昆虫学报, 36(3): 323~ 331
- 8 吴进才、庞雄飞. 1991. 多物种复合种群捕食量的数学模型及在稻飞虱数量预测中的应用. 生态学报, 11(2): 139~ 146
- 9 张文庆、古德祥、周汉辉等. 1992. 天敌作用定量评价的一种方法. 青年生态学者论丛, (2): 207~ 212
- 10 张文军. 1989. 单纯形法求解非线性方程参数及拟合检验. 西北农业大学学报, (增刊): 51~ 56
- 11 张古忍、张文庆、古德祥. 1995. 稻田主要节肢类捕食者群落的结构和动态. 中山大学学报论丛, (2): 33~ 40
- 12 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~ 79
- 13 周集中、陈常铭. 1986. 黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵的捕食作用及其模拟模型的研究. 湖南农业科学, (6): 22~ 25
- 14 周集中、陈常铭. 1987. 拟环纹狼蛛对褐飞虱捕食作用及其模拟模型的研究 I. 功能反应. 生物防治通报, 2(1): 2~ 9
- 15 庞雄飞. 1992. 褐飞虱自然种群生命表的组建方法. 华南农业大学学报, 13(1): 1~ 5
- 16 钟凌生. 1983. 稻田天敌对稻飞虱、叶蝉的控制效果及其利用. 昆虫天敌, 5(3): 158~ 165
- 17 程遐年、徐国民. 1991. 两种稻虱缨小蜂种群生态的比较. 昆虫学报, 34(4): 395~ 402
- 18 Heong KL *et al.* 1992. Population dynamics of plant and leafhopper and their natural enemies in rice ecosystems in the Philippines. *Crop Prot*, 11: 371~ 379
- 19 Heong KL. 1991. Arthropod community structures of rice ecosystems in the Philippines. *Bull Ent Res*, 81: 407~ 416
- 20 Riechert S E. 1984. Spiders as biological control agents. *Ann Rev Ent*, 29: 299~ 320

作者简介 郝树广,男,35岁,博士,现从事昆虫生态学研究,发表论文近20篇.