

迁入种群对褐飞虱种群动态影响的模拟研究

程家安¹⁾ 章连观²⁾ 范泉根²⁾ 祝增荣¹⁾

(¹⁾ 浙江农业大学, 杭州 310029; ²⁾ 嘉兴市病虫测报站, 浙江嘉兴 314000)

Simulation Study on Effects of Immigration Population on Population Dynamics of Brown Planthopper

CHENG Jia'an¹⁾, ZHANG Lianguan²⁾, FAN Quangen²⁾ and ZHU Zengrong¹⁾

(¹⁾Zhejiang Agricultural University, Hangzhou 310029; ²⁾Jiaxing Pest Forecasting Station, Jiaxing 314000)

Abstract: Analysis of historical data indicated that the number of immigrants caught under light trap during early August and the peak size of immigration generation observed in late rice fields were significantly related to the peak size of the fourth generation, but not to the peak size of the fifth generation in Jiaxing, Zhejiang. A simulation study revealed that the population dynamics after immigration can be affected directly or indirectly by three characteristics of immigration including total immigrants, starting time and pattern through density dependent effects and the changes in living conditions for immigrants and their descendants. In consequence, the forecasting can be improved by understanding interactions between immigration population and other environmental factors.

Key words: Brown planthopper; Population dynamics; Immigration

摘要: 历史资料分析表明, 浙江嘉兴8月上旬灯下褐飞虱诱虫量和连晚田间迁入代高峰虫量与四代高峰虫量显著相关, 但与主害代高峰虫量的相关性不显著。模拟研究揭示迁入种群的初始迁入时间, 迁入总虫量和迁入格局等三个特征均可通过密度制约作用和改变迁入成虫及其后代所处生态条件而直接或间接地影响到迁入后种群的增长动态。因此, 加深对迁入种群与环境因子综合作用的理解, 将有助于提高预测准确性。

关键词: 褐飞虱; 种群动态; 迁入种群

褐飞虱 *Nilaparvata lugens*(Stål)是亚洲稻区的重要害虫。一般认为,稻田前期迁入的长翅成虫是田间褐飞虱种群发展的基础⁽²⁾, 如 Kuno 认为迁入代种群数量与以后各代虫量显著相关⁽⁶⁾; 巫国瑞等亦报导迁入虫源是制约浙江省褐飞虱猖獗程度的重要基础⁽¹⁾。但是, 有时仅用迁入种群数量预测主害代的发生数量亦会出现错误⁽³⁾,

有的地区迁入种群数量与主害代数量间无显著相关关系^(4,5)。因此, 深入研究迁入种群的特性和作用机制将有助于理解褐飞虱种群动态的规律, 以改进预测技术。

系统分析为我们提供了一种从系统整体来研究各成份间相互关系的有效方法, 模拟模型可用以探索在排除各种环境成份干扰

1991年1月11日收到。Received Jan. 11, 1991

下, 某一特定因子的变动时系统整体的作用。本文在历史资料分析的基础上, 进一步用经过有效性检验的褐飞虱种群动态模型^[2,7], 研究迁入种群对褐飞虱种群动态的作用。

材料与方 法

1. 试验地概况 浙江嘉兴新丰乡, 位于东经 120.9°, 北纬 30.7°, 为纯双季稻区。褐飞虱不能在本地越冬, 仅对连作晚稻引起经济危害, 迁入长翅成虫为连晚稻田的主要虫源^[2]。迁入代成虫(习惯称第三代成虫)可在连晚田中繁殖 2~3 代, 即第四、五代和六代, 其中第五代为主害代。

2. 灯下虫量调查 采用 200 w 白炽灯, 自 5 月至 10 月, 每日下午 7 时点灯, 次日晨计数灯下诱集虫量。

3. 田间种群调查 每年按品种类型和移栽期设早、中、迟插粳稻和籼、糯稻五个类型, 每类型两块, 共 10 块系统调查田, 常规管理, 但不施用农药防治稻飞虱以保持种群的自然动态。自移栽起, 每 3~5 天调查 1 次, 直至黄熟。样方数随种群数量增长而下降, 迁入代时每田查 200 点; 第四代时 100 点; 第五代起 50 点, 每点 1 丛, 目测计数, 以各田间平均值计各代高峰期和高峰量。调查几年间当地所栽种的主要品种为农虎、溯 48、8204、8533、珍珠矮、京引 15 等, 均感褐飞虱。

4. 气温资料 由嘉兴市气象站提供; 本研究仅用各年各旬的平均气温。

5. 种群动态模型 模型采用组合了迁入时间、数量和格局、密度、生育阶段、温度、天敌和农业措施对死亡率和生殖力的影响; 密度、生育阶段对翅型比和迁出率作用等成份的动态、确定性模型, 以 BASIC 语言编写, 在 IBM 微机上运用^[2,3]。

6. 迁入种群模拟条件的设定 根据历年连晚稻田迁入种群变动设定三个迁入种群特征: 初始迁入时间(移栽后, 褐飞虱开始

迁入的时间); 迁入总虫量(迁入代总虫量, 以四代成虫出现前田间迁入长翅成虫总量计); 迁入格局(迁入代每日迁入动态, 包括持续迁入时间、迁入高峰时间和虫量)。按各田迁入代种群变动范围将每一特征设定三个水平。初始迁入时间为 7 月 22 日、8 月 1 日和 8 月 11 日; 迁入总虫量为每百丛 1.4 头、5.5 和 22 头; 以迁入高峰时间和持续时间设定三种迁入格局, 即迁入早而集中的 A 型、中等的 B 型和迟而分散的 C 型, 高峰期分别为移栽后第 8、13 和 18 天, 持续时间分别为 11、18 和 24 天, 以每一特征的中间值组成对照迁入种群。模拟时每次仅改变一个特征值, 以分析各特征对种群动态的影响。

结果与分析

(一) 迁入种群及其与各代高峰虫量的关系

表 1 为嘉兴新丰 1978~1989 年历年灯下初见期、6 月和 7 至 8 月各旬的灯下诱虫量, 以及连晚系统调查田迁入代(三代)、四代和五代的历年平均高峰虫量。灯下初见期及各时期虫量与连晚田各代高峰虫量的相关分析, 表明: 1) 连晚田各代的发生量与灯下初见期的相关性不显著; 连晚迁入代高峰虫量仅与 8 月上旬($r=0.7950^*$)及 7 月上旬($r=0.6603^*$)灯下诱虫量显著正相关; 连晚四代高峰虫量仅与迁入代高峰虫量($r=0.9756^{**}$)和 8 月上旬灯下诱虫量($r=0.7800^{**}$)极显著正相关; 连晚五代高峰虫量仅与四代高峰虫量显著正相关($r=0.6160^*$)。连晚田各代高峰虫量与其以前世代或时期虫量的相关性随相隔时间的增加而下降, 以致五代高峰虫量与迁入代高峰虫量并不显著相关($r=0.4380$)。2) 自迁入代至五代高峰虫量的增长倍数有随迁入代高峰虫量增加而下降的趋势。1980、1981、1982 和 1987 年, 迁入量高, 其增长倍数分别为 68.72、490.41、494.60 和

表 1 嘉兴市历年灯下诱虫量和各代高峰虫量

Table 1. Historical profile of immigration caught under light trap and peak size of respective generations in fields of

Jiaxing, Zhejiang														
年份 Year	初见期 (月.日) First day obsd. (M.D)	灯下诱虫量 Immigration caught under light trap							高峰虫量(头/百丛) Peak density No./100 hills					
		6月 June			7月 July			8月 August			合计 Total	迁入代 Immi.	4代 4th gen.	5代 5th gen.
		上旬 Early	中旬 Middle	下旬 Late	上旬 Early	中旬 Middle	下旬 Late	上旬 Early	中旬 Middle	下旬 Late				
1987	7.1	3	3	2	2	2	0	12	2.65	107.25	4426			
1979	7.12	0	20	22	16	63	17	138	3.75	138.25	5277			
1980	6.17	15	2	164	1594	149	2188	523	4590	20.75	219.75	1399		
1981	7.1	146	169	266	406	135	28	1150	3.65	64.75	1790			
1982	7.8	5	1944	1704	59	112	68	3890	3.75	54.00	1855			
1983	7.1	10	85	272	15	1	25	408	0.34	29.25	2110			
1984	7.2	10	3	2	11	0	0	26	0.14	1.40	101			
1985	7.4	316	84	117	179	11	8	715	3.10	109.13	5888			
1986	6.17	22	28	407	652	2	4	0	1115	1.00	47.25	1564		
1987	7.2	408	141	191	608	14	11	1373	47.25	560.25	6121			
1988	6.28	4	6	1	199	0	49	8	267	2.75	80.88	3099		
1989	7.11	0	9	12	3	17	4	45	0.55	11.70	477			

129.55 倍, 明显低于历年平均增长倍数 807.15。1978、1983 和 1986 年, 迁入量小, 其增长倍数分别为 1670.19、6251.88 和 1563.50 倍, 明显高于历年平均值。

(二) 实际迁入种群对种群动态影响的模拟分析

鉴于褐飞虱自然种群动态是各种环境因子综合作用的结果, 迁入种群的作用可能因其他因子作用而改变。为明确迁入种群对褐飞虱种群动态的直接影响, 有必要用模拟方法来探索单一田间实际迁入种群因子可能对种群动态的影响。

首先, 选取嘉兴市病虫测报站 1976~1987 年调查的 14 块典型田块, 以模拟种群动态与实测动态一致为原则, 用模型将每一田块的迁入代系统调查资料转换成每日迁入量动态。

然后, 选用已经有效性检验的褐飞虱动态模拟模型^[2,3], 使模型中的各项参数保持恒定, 以嘉兴市 1976~1985 年十年平均旬气温作为气温输入, 以当地常年连晚移栽

期 8 月 1 日作为初次迁入时间, 以便排除其他环境因子对迁入种群影响的干扰。将每一田块的每日迁入量动态输入模型, 模拟得到该田块四、五代的高峰时期和虫量, 如表 2。

在单一迁入种群不同的条件下, 各田块间迁入代、四代和五代高峰期的最大差异均为 9 天; 而田块间各代高峰虫量的最大差异分别为 107.76、50.90 和 25.88 倍, 表明迁入种群是引起褐飞虱种群时间和数量动态的一个十分重要的因子。迁入种群时间动态的差异可延续至以后世代, 而迁入种群数量动态的差异将随世代的延续而缩小。

然而, 对于具体一块田而言, 迁入总虫量和迁入高峰虫量高的田块, 五代高峰虫量并不一定亦高, 如 9 号田的总迁入量 (7.25 头) 居第 4 位, 高峰虫量 (3.45 头) 居第 6 位, 迁入代和四代高峰期为移栽后 13 和 34 天, 其五代高峰虫量仅居第 8~9 位; 相反, 总迁入量还不到该田一半但迁入代和四代高峰期为移栽后第 8 和 25 天的 2

表2 以实测迁入种群模拟的褐飞虱种群参数

Table 2. Population parameters of BPH simulated with observed immigration population

田号 No. of fields	迁入种群 Immigration Population				四代 Fourth Generation		五代 Fifth Generation	
	高峰期 (移栽后 天数) Peak time (DAT)	高峰虫量 (头/百丛) Peak Size (No. / 100 hills)	总迁入量 (头/百丛) Total immi. (No. / 100 hills)	持续迁入期 (天) Duration (Days)	高峰期 Peak time (DAT)	高峰虫量 (头/丛) Peak size (No. / hill)	高峰期 Peak time (DAT)	高峰虫量 (头/丛) Peak size (No. / hill)
1	14	3.58	5.50	16	33	0.68	61	26.07
2	8	2.36	3.50	9	25	0.41	55	26.04
3	12	1.10	2.60	26	34	0.29	61	14.04
4	11	3.00	4.20	13	30	0.54	61	24.86
5	13	4.46	6.40	15	32	0.82	61	30.54
6	12	1.98	2.95	14	32	0.39	64	17.14
7	8	10.00	11.40	11	28	1.09	61	58.12
8	5	5.03	6.10	19	25	0.72	53	41.45
9	13	3.45	7.25	22	34	0.91	64	24.58
10	9	2.05	2.50	9	28	0.33	61	17.75
11	10	13.55	21.50	14	28	2.36	55	79.54
12	7	2.51	4.15	18	32	0.46	61	23.93
13	8	0.63	1.70	17	34	0.18	61	9.01
14	7	67.89	78.73	11	26	9.16	52	233.22

号田的五代高峰虫量都比9号田高。因此,有必要进一步分析迁入种群的数量和时间特征与种群动态的关系。

(三) 迁入种群特征对种群动态作用的模拟分析

通常,连晚移栽后即有褐飞虱迁入,连晚稻田的初始迁入时间与移栽期一致。模拟分析表明不同田块迁入种群的总迁入量、高峰虫量和时间,以及迁入持续时间均有明显差异(表2)。因此,研究迁入种群对种群动态的作用必须考虑上述差异的影响。为了简化模拟分析过程,我们将不同田块迁入种群的差异归为三个特征并对每一个特征设定三个水平,模拟时每次仅改变一个特征的一个水平,以比较分析各迁入种群特征对各世代高峰时间和虫量的影响,结果如表3。

初始迁入时间影响到发生时间和数量。若按初始迁入后天数计各代的发生高峰期,

则各代高峰期随初始迁入时间的推迟而推迟,但从7月22日推迟至8月1日,四代和五代高峰期分别推迟1和2天,而从8月1日推迟至8月11日,四代和五代高峰期分别推迟3和10天。对高峰虫量的影响因世代而异,四代高峰虫量随初始迁入时间推迟而增加,而五代高峰虫量随初始迁入时间推迟而下降。各初始迁入时间条件下四代至五代的增长倍数分别为83.78、43.45和15.73倍,明显表现为增长倍数随初始迁入时间推迟而下降。同时,初始迁入时间还影响到发生代数,在模拟条件下,当初始迁入时间为7月22日时,迁入种群可繁殖三个世代,出现第六代。

迁入总虫量主要影响到发生数量,四代和五代发生量随迁入总虫量的增加而增加,但世代间的增长倍数都随迁入总虫量的增加而下降,三种迁入总量条件下四代高峰虫量

表3 迁入种群特征对各世代高峰时间和数量的影响

Table 3. The effects of characteristics of immigration population on peak time and size at various generations

	起始时期 Starting time			迁入总量(头/100丛) Total Immi. (No./100hills)			迁入格局 ¹⁾ Immi. pattern		
	7月22日 Jul. 22	8月11日 Aug. 11	CK	1.4	22	CK	A.	C	CK
高峰期 Peak time(DAT)	29	33	30	30	30	30	27	34	30
高峰量(头/丛) Peak size(No./hill)	0.50	0.54	0.66	0.17	2.54	0.66	0.70	0.66	0.66
高峰期 Peak Time(DAT)	59	71	61	64	61	60	61	64	61
高峰量(头/丛) Peak size(No./hill)	42.23	13.29	28.69	9.08	76.91	28.69	34.23	20.23	28.69
高峰期 Peak time(DAT)	86								
高峰量(头/丛) Peak size(No./hill)	33.97								

1)详见正文。

的比值为 1:3.88:14.94,而五代高峰虫量的比值下降为 1:3.16:8.47,经过一个世代,低迁入量和高迁入量田高峰虫量的差异几乎下降了一半。此外,随着迁入总量的增加,五代高峰时间亦有略为提早的趋势。

迁入格局对发生期和发生量均有一定影响,迁入高峰早而集中的格局 A 与迟而分散的格局 C 相比,四代和五代的高峰期早,高峰虫量高。迁入格局对发生期的影响,四代大于五代,而对发生量的影响五代大于四代。

讨 论

浙江嘉兴新丰的历史资料分析和模拟研究均表明迁入种群对连晚稻田的种群动态有重要作用,但连晚稻田各代高峰虫量与迁入种群和其早先各世代虫量的相关性随相隔时间的延长而下降。因此,在研究迁入种群对稻田褐飞虱种群动态的影响时应分为两个阶段,即长翅成虫迁入阶段和迁入后的种群发展阶段,研究明确迁入阶段的主要虫源和发展阶段与迁入种群特征协同作用的主要环境因子将有助于改进预测预报。

高山捕虫网的资料表明自南往北迁入的长翅成虫是构成我省晚稻为害的主要虫源⁽¹⁾。然而,嘉兴资料表明连晚迁入代高峰虫量仅与 8 月上旬灯下诱虫量极显著相关,而与 7 月上旬灯下诱虫量显著相关。两时期正好相隔一代,且其诱集量极显著相关($r=0.8399^{**}$),似表明因南方迁入的初始虫源在当地繁殖一代后所产生的成虫亦可能是连晚稻田的重要虫源。

模拟分析表明不同迁入量田块间虫量的差异随世代的发展而下降,历年自迁入代至五代高峰虫量的增长倍数亦随迁入代高峰虫量增加而下降。这表明密度制约作用在迁入后种群发展过程中有重要调节作用。同时,初始迁入时间和迁入格局对种群动态的影响还暗示了迁入种群的作用还可通过改变迁入种群及其后代所遇到的实际生态条件,从而改变了种群增长速率而表现出来。

嘉兴市常年日平均气温连续三天低于 20℃ 的低温天气出现在 9 月下旬前后。因此,连晚稻田适于褐飞虱种群增殖的时间常不足两个月,种群增长后期易受到不良低温的影响,种群发展过程中所遇到的实际气温

条件将对种群增长速率有决定作用。模拟分析表明初始迁入时间不仅影响到发生世代数,且显著影响到种群数量,田间调查亦表明早插田的高峰虫量常高于迟插田,其原因就在于迁入时间越早的个体,可利用的适于种群发展的时期亦越长,这些个体对种群发展的作用亦越大。嘉兴常年连晚移栽期在7月底至8月初,8月上旬灯下诱虫量反映了连晚稻田的前期迁入虫量,四代高峰虫量仅与8月上旬灯下诱虫量显著相关亦表明前期迁入虫量对连晚稻田种群发展的重要作用。从历史资料看,灯下迁入量高而分散的1980年和1982年的五代高峰虫量并不高,而灯下诱虫量不高但集中在8月上旬的1985年和1987年,五代高峰虫量都明显高于上述两年。

因此,在利用迁入种群预测种群动态时不仅应考虑迁入种群的数量特征、时间特征,而且还应考虑这些特征与环境因子的综合作用。

参考文献

- (1) 巫国瑞, 黄次伟, 陶林勇等. 影响褐飞虱猖獗和为害的因素. *生态学报*, 1984, 4 (2): 157~165.
- (2) 程家安, 章连观, 何孙忠等. 水稻褐飞虱种群动态模拟模型及其有效性检验. *浙江农业大学学报*, 1989, 15 (2): 131~136.
- (3) Cheng Jia'an and Holt J. A systems analysis approach to brown planthopper control on rice in Zhejiang Province, China. 1. Simulation of outbreaks. *J Appl Ecol*, 1990, 27: 85~99.
- (4) Cook A G. and Perfect T J. The influence of immigration on development of *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera* and its interaction with immigration by predators. *Crop Protection*, 1985, 4: 423~433.
- (5) Kenmore P E, Carino F O, Perez C A, Dyck V A and Gutierrez A P. Population regulation of the rice brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) within rice fields in the Philippines. *J Plant Protection in Tropics*, 1984, 1: 19~37.
- (6) Kuno E. Ecology of brown planthopper in temperate regions. In: Threat to Rice Production in Asia. IRRI, 1979, 45~60.
- (7) Holt J, Cook A G, Perfect T J and Norton G A. Simulation analysis of brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) population dynamics on rice in the Philippines. *J Appl Ecol*, 1987, 24: 87~102.