

## 气温对褐飞虱种群动态影响的模拟研究

程家安<sup>1)</sup> 章连观<sup>2)</sup> 范泉根<sup>2)</sup> 祝增荣<sup>1)</sup>

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

### Simulation Study on Effects of Temperature on Population Dynamics of Brown Planthopper

CHENG Jia'an<sup>1)</sup>, ZHANG Lianguan<sup>2)</sup>, FAN Quangen<sup>2)</sup>, ZHU Zengrong<sup>1)</sup>

(<sup>1)</sup> Zhejiang Agricultural University, Hangzhou 310029; <sup>2)</sup> Jiaxing Pest Forecasting Station, Jiaxing 314000, Zhejiang Province)

**Abstract:** Based on the data from Jiaxing, Zhejiang Province in 1976–1988, the relationship between population dynamics of brown planthopper *Nilaparvata lugens* stål and temperature was studied. Simulation study indicated that temperature was one of the key factors affecting population development after immigration, the only temperature differences among years could cause 5 and 10-day discrepancies in peak time, and 1.63 and 2.25 times discrepancies in peak size, respectively to the fourth and fifth generation; the effects of temperature in September on population growth was more important than that in August; while the mid-September was the key period for temperature effects. The results are consistent with the historical data in Jiaxing, Zhejiang. Meanwhile, simulation analysis revealed that the effects of temperature on population dynamics were related to both characteristics of population development and seasonal variance of temperature at a particular area, as well as biology of brown planthopper.

**Key words:** *Nilaparvata lugens*; Population dynamics; Temperature; Simulation

**摘要:** 对浙江省嘉兴市新丰乡 1976~1988 年褐飞虱种群与 8、9 月当地气温的关系进行了研究。模拟研究表明气温是影响褐飞虱迁入后种群发展的重要因子, 单一年度间气温的差异可分别导致四、五代高峰期 5 和 10 d 的差异, 高峰虫量 1.63 和 2.25 倍的差异; 9 月份气温对褐飞虱种群增长的影响大于 8 月份的气温; 而 9 月中旬是发生上述影响的关键时期。这一结果与嘉兴市历年发生实况相符。模拟分析也揭示了气温对种群动态的影响不仅与褐飞虱生物学特性有关, 亦与某一特定地点的种群发展和气温变化特点有关。

**关键词:** 褐飞虱; 种群动态; 气温; 模拟

温度是褐飞虱种群生命系统中的一个重要环境因子, 它可通过对发育速率、若虫存活率和成虫生殖力的作用而显著影响到种群的增长能力<sup>[2]</sup>, 常被用作褐飞虱发生期和发生量预测的预报因子。但是, 不同学者对预测中如何考虑气温的作用的观点不尽相

同。浦茂华等在提出“盛夏不热, 晚秋不凉”是褐飞虱暴发气候型相的基础上, 进一步分析了我国中南部地区抑制高温对褐飞虱种群

1991 年 1 月 11 日收到。Received Jan., 11, 1991

注: 本研究为浙江省自然科学基金资助项目。

增长的影响,并提出以主害代前二代成虫高峰后 20 d 内日最高气温达到 33.5℃ 以上天数作为预报因子以预测主害代的发生数量,但因大气抑制高温和田间小气候温度有较大差异,因而影响到该方法预测的准确性<sup>(4)</sup>。李汝泽通过上海市川沙县历史资料分析,认为当地影响褐飞虱年度间发生程度的不利气温条件以秋季低温为主<sup>(1)</sup>,巫国瑞等对浙江萧山褐飞虱种群动态资料的分析表明,气温仅在特定条件下发生作用,并认为 9 月份的高温有利于连晚褐飞虱种群的增殖<sup>(3)</sup>。为此,作者利用浙江省嘉兴市新丰乡 1975~1988 年的气温和褐飞虱自然种群动态系统调查资料,并通过已经有效性检验证明有效的褐飞虱种群动态模拟模型<sup>(5)</sup>,分析研究了气温对种群动态影响的关键时期和作用机制。

## 材料与方法

试验地点、田间种群调查、气温资料和

种群动态模型与迁入种群对褐飞虱种群动态影响的模拟研究相同<sup>(6)</sup>。

**迁入种群和模型参数** 模拟中均以总迁入量每百丛 5.5 头,初始迁入时间为 8 月 1 日和迁入高峰期 of 移栽后 13 d,持续迁入时间为 18 d 的格局作为迁入种群的初始种群输入<sup>(6)</sup>,其余模型参数和条件均保持恒定<sup>(5)</sup>。

**模拟气温条件的设定** 根据 1976~1985 年 10 年相应各旬平均气温的平均数作为常年各旬平均气温对照。依历年各旬平均气温的标准误为 0.5℃ 左右,以  $t=2$  设定置信区间,设置高温和低温条件,即常年平均气温增加或减去 1℃ 来表示高温或低温年份的旬气温条件,以模拟气温条件变化对种群动态的影响。

## 结果与分析

### (一) 气温和褐飞虱主害代种群高峰虫量的关系

表 1 浙江嘉兴历年旬平均气温和褐飞虱主害代高峰虫量资料

Table 1. A historical profile of average seasonal temperature and peak density of brown planthopper at Jiaxing, Zhejiang

年份 Year	平均气温 Average temperature(°C)						迁入代 虫口数 / 100 丛 Immigrants / 100 hills	高峰 虫量 (头/丛) Peak density (No./hill)
	8 月 August			9 月 September				
	上旬 Early	中旬 Middle	下旬 Late	上旬 Early	中旬 Middle	下旬 Late		
1976	29.6	29.4	27.6	24.5	21.1	19.5	2.20	34.29
1977	30.0	24.9	24.8	26.4	23.3	21.3	2.00	21.61
1978	29.6	28.4	27.5	26.1	22.3	20.7	2.65	44.26
1979	29.6	27.3	25.4	22.8	25.0	20.3	3.75	52.77
1980	24.8	23.9	25.8	24.0	21.9	18.7	20.35	13.99
1981	28.4	27.4	26.9	23.0	19.9	22.0	3.65	17.90
1982	27.6	28.2	25.3	24.7	21.8	19.9	3.75	18.55
1983	30.5	27.2	25.6	26.2	23.7	22.5	0.34	21.10
1984	29.3	26.8	27.2	24.8	20.6	22.5	0.14	1.01
1985	28.3	27.5	26.7	26.7	25.4	20.4	3.10	58.88
1986	28.5	29.1	24.9	25.3	20.3	20.0	1.00	15.64
1987	29.4	27.6	28.4	24.3	22.1	20.8	47.25	61.21
1988	27.4	28.1	24.4	24.6	22.6	20.4	2.75	30.99
平均值 $\bar{X}$	28.7	27.4	26.2	24.9	22.3	20.7	7.15	30.17
标准误 Se	0.41	0.42	0.35	0.34	0.47	0.31	3.63	5.24

表 2 以历年实测气温模拟的褐飞虱四、五代高峰期和高峰虫量

Table 2. Peak time and size of the fourth and fifth BPH generation simulated with historical observed temperature

年份 Year	四 代 Fourth generation(G4)			五 代 Fifth generation(G5)		
	高峰期 (移栽后天数) Peak time (DAT)	高峰虫量 (头/百丛) Peak size (No./100 hills)	三至四代 增长倍数 Growth rate (G4/G3)	高峰期 (移栽后天数) Peak time (DAT)	高峰虫量 (头/丛) Peak size (No./hill)	四至五代 增长倍数 Growth rate (G5/G4)
1976	30	50.35	15.88	59	18.12	35.99
1977	33	95.20	30.03	63	51.71	54.31
1978	32	49.13	15.50	61	22.77	46.34
1979	28	60.23	19.00	61	36.72	60.97
1980	31	111.35	35.13	65	35.15	31.57
1981	32	66.95	21.12	69	18.96	28.32
1982	28	56.31	17.76	64	25.43	45.16
1983	33	66.71	21.04	62	45.56	68.29
1984	30	75.86	23.93	67	26.95	35.53
1985	32	66.95	21.12	61	46.31	69.17
平均值 $\bar{X}$	30.90	69.90	22.00	63.20	32.77	47.57
标准误 Se	0.59	6.25	1.97	0.98	3.83	4.76

嘉兴市常年连晚的主要移栽期为 7 月下旬后半期至立秋前。连晚田主害代(五代)的高峰期在 9 月下旬后半期至 10 月上旬。因此,连晚稻田褐飞虱种群发展时间主要在 8、9 月份。表 1 为嘉兴市 1976~1988 年 8~9 月各旬平均温度、迁入代和主害代高峰虫量资料。在迁入种群数量接近常年平均数的 1979、1981、1982 和 1985 年四年中,秋季气温高的 1979 年和 1985 年两年的五代高峰虫量达每丛 52.77 和 58.88 头,仅次于迁入种群数量最高的 1987 年,居第二、三位;而秋季气温较低的 1981 和 1982 年,五代高峰虫量仅为每丛 17.90 和 18.55 头,明显低于历年平均数,居倒数第四、五位。在五代高峰虫量很低的 1984 年、1980 年和 1986 年三年中,虽然各年迁入种群数量大小差异很大,但这些年 9 月份的气温尤其是 9 月中旬的气温均低于常年平均。将历年各旬平均气温以及 8~9 月各旬总平均温度与主害代高峰虫量进行相关分析,结果除 9 月中旬平均气温与主害代高峰虫量间的正相关( $r=0.6201$ )达显著水平外,其余相

关均不显著。上述分析表明气温是影响褐飞虱主害代高峰虫量的一个重要因子。

## (二) 不同年份实际气温对种群动态影响的模拟

为了探讨不同年份单一气温条件的差异对种群动态影响大小程度,采用褐飞虱种群动态模型对此作了模拟分析。在相同的迁入种群条件下,分别输入 1976~1985 年各年的实测各旬平均气温,模拟各年实测气温条件下的种群动态。模拟获得的各年四代、五代的高峰期和高峰虫量见表 2。其中四代高峰期最早的 1979 年、1982 年为移栽后 28 d,最迟的 1977 年、1983 年为移栽后 33 d;四代高峰虫量最低的 1976 年,每百丛 50.35 头,最高的 1980 年每百丛 111.35 头;五代高峰期最早的 1976 年为移栽后 59 d,最迟的 1981 年为移栽后 69 d;五代高峰虫量最低的 1976 年每丛 18.12 头,最高的 1977 年达每丛 51.71 头。这表明仅气温条件就可引起四、五代高峰期迟早的差异分别达 5 和 10 d,四、五代高峰虫量差异分别达 2.21 倍和 2.85 倍。对照表 1 中不同

年份的气温条件可以看出,模拟的四、五代高峰虫量或增长倍数的高低分别与8月份和9月份气温条件有密切关系。四代虫量明显高于平均虫量的1977年和1980年,8月各旬气温尤其是中旬气温明显低于10年同期平均旬气温;而明显低于平均虫量的1976年和1978年,8月各旬气温均显著高于同期平均气温。五代高峰虫量明显高于平均虫量的1977年和1985年,9月各旬气温尤其是上、中旬气温显著高于常年同期平均气温;而明显低于平均虫量的1976年和1981年,9月各旬气温明显低于常年同期平均气温。10年中五代高峰虫量最高的为8月气温较常年低、9月份气温较常年高的1977年;而虫量最低的1976年的情况恰好相反,这一结果与以往研究所提出的凉夏暖秋引起褐飞虱种群暴发的结果一致<sup>(3)</sup>。

### (三) 不同月份气温对种群动态的影响

在年度间气温差异对种群动态影响分析研究的基础上,进一步分析研究了8、9月份气温对种群动态影响相对作用的重要性,即每次仅用某年8月或9月各旬的实测气温,其余均为历年旬平均气温,以在同样的迁入种群条件下模拟比较不同月份气温对种群

动态的影响。各年8月或9月气温条件下的五代高峰期和高峰虫量如表3。结果表明,在各年8月各旬实测气温条件下,五代高峰期除1977年、1980年为移栽后64 d外,其余均为移栽后61 d,相差3 d;在各年9月各旬实测气温条件下,五代高峰期最早的1978年和1985年为移栽后61 d,而最迟的1981年为移栽后70 d,相差9 d。各年8月各旬气温条件下五代高峰虫量最高的1982年为每丛38.78头;最低的1976年为每丛23.75头,相差1.63倍;各年9月份各旬气温条件下五代高峰虫量最高的1983年为每丛47.09头;最低的为1976年的每丛20.93头,相差2.25倍。这表明不同年份气温对种群动态的影响中,以9月份的气温条件的影响较大。若以8月和9月对五代种群高峰期和高峰量的影响与不同年份气温所引起的相比,在模拟条件下其中约三分之二的影响是由9月份的气温条件所引起的,约三分之一的影响是由8月份的气温条件所引起的。

### (四) 8、9月各旬气温对种群动态的影响

为进一步了解8、9月份气温对褐飞虱种群动态的关键时期,在相同数量和格局的

表3 历年8、9月实测旬平均气温对五代褐飞虱种群动态的影响

年份 Year	8月实测气温 Temperature observed in Aug.		9月实测气温 Temperature observed in Sep.	
	高峰时间 (移栽后天数) Peak time (DAT)	高峰虫量 (头/丛) Peak size (No./hill)	高峰时间 (移栽后天数) Peak time (DAT)	高峰虫量 (头/丛) Peak size (No./hill)
	1976	61	23.76	65
1977	64	31.60	63	39.82
1978	61	23.90	61	27.88
1979	61	25.76	64	41.74
1980	64	38.72	66	24.09
1981	61	29.75	70	21.01
1982	61	38.78	62	26.25
1983	61	25.92	62	47.09
1984	61	33.31	67	23.70
1985	61	29.63	61	45.87
平均值 $\bar{X}$	61.6	30.113	64.1	31.839
标准误 Sc	0.32	1.756	0.92	3.335

表4 旬平均气温的变异对褐飞虱种群数量的影响

Table 4. Changes of population size caused by variance of average temperature over 10-day period

气温 Temperature	8月1日移栽 Transplanted on Aug.1		7月22日移栽 Transplanted on July 22			
处理和时期 Treatment and period	五代高峰虫量 (头/丛) G5 peak size (No./hill)	较对照增减 (%) Comp. to CK (%)	五代高峰虫量 (头/丛) G5 peak size (No./hill)	较对照增减 (%) Comp. to CK (%)	五代高峰虫量 (头/丛) G5 peak size (No./hill)	较对照增减 (%) Comp. to CK (%)
增加一度 +1℃						
7月上旬	—	—	40.33	-4.5	30.01	-11.7
8月上旬	26.63	-7.2	35.52	-8.4	34.23	0.8
8月中旬	25.33	-11.7	41.51	-1.7	36.06	6.1
8月下旬	29.69	3.5	41.23	-2.4	35.01	3.0
9月上旬	28.93	0.8	39.05	-7.5	38.43	13.1
9月中旬	39.78	38.7	42.57	0.8	40.30	18.6
9月下旬	30.23	5.4	42.23	0	56.67	66.8
降低一度 -1℃						
7月下旬	—	—	44.86	6.2	37.74	11.1
8月上旬	31.37	9.4	51.53	22.0	32.80	3.5
8月中旬	31.02	8.1	42.28	0.1	31.39	-7.6
8月下旬	27.57	-3.9	43.66	3.4	34.21	0.7
9月上旬	26.92	-6.2	41.07	-2.3	29.06	-14.5
9月中旬	23.47	-18.2	40.38	-4.4	28.34	-16.6
9月下旬	27.14	-5.4	42.25	0	30.65	-9.8

迁入种群条件下, 以对照平均气温为基础, 1次仅通过对某一特定平均旬气温增加或减少1℃来模拟该特定时期温度变化对五代种群数量的影响, 结果如表4。比较各旬温度变化与五代高峰虫量的增减趋势表明, 当移栽期为8月1日时, 降低8月上、中旬和增加8月下旬至9月下旬各平均气温均有利于褐飞虱种群增长, 反之则不利于种群增长。各旬气温中, 以9月中旬气温的变化对种群数量影响最大, 在历年平均旬气温条件下增或减1℃, 可使种群数量增加38.7%或减少18.20%。这一结果与当地历史资料相关分析的结果一致, 也与巫国瑞等<sup>[2]</sup>和李汝泽<sup>[3]</sup>的研究结果相符。

但是, 当移栽期提早至7月22日, 迁入种群可在晚稻田连续繁殖四、五和六代三个世代, 从而导致种群发展过程和季节性温度条件配合情况的改变。此时, 对五代褐飞虱的表现7~8月高温不利于种群发展, 但因发生期提早, 9月气温的影响相对下降。对六代除7月下旬外, 一般表现为气温偏高时有利于种群发展。其气温作用关键时

期亦发生改变。对五代种群数量影响最大的是8月上旬, 对六代种群数量影响最大的是9月中、下旬。在移栽期提早的条件下, 模拟结果与浦茂华等<sup>[4]</sup>的报道较为接近。

## 讨 论

模拟分析表明, 仅年度间的气温差异可分别导致四、五代高峰期差异为5d和10d; 高峰虫量差异达2.21和2.85倍。单一各年8月或9月份气温的差异亦可引起五代高峰期3d或9d的差异; 五代高峰虫量差异1.63或2.25倍, 以9月份气温变化的作用较大。若8、9月的不适条件或适宜条件均在同一年出现, 那么从理论上讲, 历年该两月气温差异可引起的五代高峰虫量的最大差异为8、9两月影响之积, 即3.67倍。但是, 本研究仅使用了1976~1985年10年的气温条件, 而历史上各年度间的气温差异必然比仅考虑的这期间的要大, 故自然年度间气温差异对种群动态的影响肯定还要大。例如, 1975年的气温异常高, 该年7月下旬~10月上旬的各旬平均气温为

28.1、27.9、27.7、28.5、27.3、26.5、24.4和22.0℃,9月份的气温几乎是历史上最高的。当以该年实测气温输入模拟8月1日为起始迁入时间条件下的种群动态时,在移栽后81d出现六代高峰,这与当年实测有六代发生的情况相符。此外,气温高低还显著影响褐飞虱的取食量,秋季气温偏高,褐飞虱取食量增加,为害加重<sup>(3)</sup>。因此,气温是褐飞虱发生与为害预测中不可忽略的一个因子。

室内试验表明,气温对褐飞虱种群数量增长的影响主要表现在高温条件下若虫存活率的下降,不适高温和低温引起产卵量的下降<sup>(1)</sup>。在嘉兴市及长江下游各地,褐飞虱初始虫源为迁入长翅成虫。一般地,连晚稻田的迁入代成虫几乎均为长翅型。迁入代繁殖的四代,均在分蘖后期至孕穗期羽化和繁殖,营养条件较为适宜,且虫口密度较低,所羽化的成虫以短翅型为主<sup>(1)</sup>,据嘉兴市历年系统调查资料统计,四代的短翅型成虫占总成虫的 $86.01 \pm 3.43\%$ 。同时,与长翅型成虫相比,短翅型成虫雌性比高,产卵前期短,产卵量高<sup>(6)</sup>。因而,四代的增殖能力对晚稻褐飞虱种群增长起决定作用。该地区,常年四代成虫产卵盛期在移栽后40~50d左右,在8月1日移栽的条件下,正处于9月中旬。同时,历年该时期平均气温已低于23℃,低于褐飞虱生殖的适宜温度<sup>(2)</sup>。因此,9月中旬就成了气温对褐飞虱种群增长影响的关键时期,嘉兴市历年气温与主害代种群密度统计分析的结果亦证实了这一点。

然而,当种群起始迁入时间(移栽期)提早至7月22日时,迁入种群可在晚稻田繁殖三个世代,从而各世代的生殖盛期及其与季节性气温变化的配合亦相应改变。通常,四代成虫产卵盛期在8月底至9月上旬前后,此时,历年平均气温在24.9℃,常处于较适宜的范围,故对五代数量影响大的已不是9月份的气温,而是8月上旬高温对迁入代成虫生殖不利导致四代虫量下降而带来的影响。在这一起始条件下,五代成虫产

卵高峰常出现在移栽后60~70d,即9月下旬前后,常年平均气温仅为20.8℃,已明显低于其生殖的适宜温度,故9月下旬气温升高成为影响六代发生量的关键时期。

因此,气温对褐飞虱种群动态的影响应是褐飞虱本身生物学特性、种群发展特点以及某一特定地点气温变化规律三者综合作用的结果,这也许就是不同生态地区在利用气温预测时侧重于考虑不同时期或温度条件的原由。

限于条件,本研究仅使用了历年的旬平均气温,这种类型的气温资料更易于应用于褐飞虱发生预测,且模拟分析结果亦与实际观察情况相符,并揭示了单一气温条件可能对种群动态的影响和机制。然而,同一旬中气温有时亦有较大变异,仅以旬平均气温可能会掩盖了某些气温条件对种群动态的影响,故深入研究更详细气温条件与种群动态的关系有助于加深对褐飞虱种群动态规律的理解。

### 参考文献

- (1) 王希仁,张灿东.褐飞虱翅型分化因子的探讨.昆虫知识,1981,18(4):145~148.
- (2) 李汝泽.温度对褐飞虱种群生长的影响.植物保护学报,1984,11(2):101~108.
- (3) 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.
- (4) 浦茂华,陈洁明.褐飞虱发生程度数理预报的初步研究.植物保护,1979,(5):1~9.
- (5) 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.
- (6) 程家安,章连观,范泉根等.迁入种群对褐飞虱种群动态影响的模拟研究.中国水稻科学,1991,5(4):163~168.
- (7) Mochida O, and T Okada. Taxonomy and biology of *Nilaparvata lugens* (Hom., Delphacidae) In Threat to Rice Production in Asia. IIRRI, 1979, 21~24.