调 查 研 究
Investigations

皖南稻区褐飞虱怀卵雌成虫数量和前期防控对褐飞虱种群动态的影响

方春华[1]， 刁永刚[2]， 吴卫国[3]， 胡 高[2*]

(1. 安徽省黄山市徽州区植保植检站，黄山 245900；2. 南京农业大学植物保护学院，南京 210095；3. 黄山市徽州区农业委员会，黄山 245900)

摘要 通过褐飞虱怀卵雌成虫不同梯度数量下的田间药效试验，研究了安徽省黄山市徽州区单季中稻田二代褐飞虱怀卵雌成虫数量以及前期防控对后期褐飞虱种群动态的影响。试验结果表明：二代怀卵雌成虫数量(x)决定了后期褐飞虱种群大小(y)；前期防控(防控：$c=1$；不防控：$c=0$)能够明显压低后期褐飞虱种群大小(y)；并可建立广义线性回归模型：$\log(y)=0.943x-3.191c+0.703xc+7.200$。根据该模型可以确定两个临界值：(1) $x>0.4$ 头/百丛时，需要采取“压前控后”策略，即在二、三代低龄若虫高峰期各施药一次，才能有效控制褐飞虱发生危害；(2) $x>2.4$ 头/百丛时，即使采取“压前控后”的策略，褐飞虱仍然会大发生。2006－2014 年大田普查数据亦表明当 $x>2.4$ 头/百丛时，三代褐飞虱极易大发生。本研究明确了褐飞虱前期种群数量对后期发生程度的影响，并可依据前期怀卵雌成虫数量采取不同的防控策略，实现科学防控，减少用药。

关键词 怀卵雌成虫； 褐飞虱； 广义线性模型； 防治指标

中图分类号： S 435.112.3 **文献标识码：** A **DOI：** 10.3969/j.issn.0529－1542.2016.01.029

Effect of the abundance of pregnant female and chemical control in previous generation on the population dynamics of brown planthopper in Southern Anhui

Fang Chunhua[1], Diao Yonggang[2], Wu Weiguo[3], Hu Gao[2]

(1. *Plant Protection and Quarantine Station of Huizhou District of Huangshan City, Anhui Province, Huangshan* 245900, *China*; 2. *College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing* 210095, *China*; 3. *Agricultural Commission of Huizhou District, Huangshan City, Huangshan* 245900, *China*)

Abstract To investigate the relationship between numbers of the pregnant female in the 2nd generation and all individuals in the 3rd generation of brown planthopper (BPH), *Nilaparvata lugens* (Stål), field experiments were conducted with different number of pregnant female during June 20th to July 20th in Huizhou, Anhui Province. Results showed that (1) the number of pregnant female in the 2nd generation (x) determined the abundance of BPH in late season (y); (2) chemical control (chemical control: $c=1$; without chemical control: $c=0$) applied in the 2nd generation could suppress the population growth of BPH; and (3) these relationship could be modeled by an equation $\log(y)=0.943x-3.191c+0.703xc+7.200$. Based on this model, two threshold values of population size in the 2nd generation could be calculated, (1) the population in the 2nd generation must be suppressed with chemical control when $x>0.4$ individuals per 100 hills; and (2) the damage caused by BPH is unavoidable when $x>2.4$ individuals per 100 hills even if chemical control applied in the 2nd generation. The historical data during 2006－2014 also showed that BPH could be outbreak when the population size of BPH in the 2nd generation greater than 2.4 individuals per 100 hills. These results suggested that different control strategy could be selected to manage BPH according to the number of pregnant female.

Key words pregnant female; *Nilaparvata lugens*; generalized linear model; control index

褐飞虱(brown planthopper，BPH)是我国水稻上重 要的迁飞性害虫。褐飞虱前期迁入量大小往往对后期

收稿日期： 2014－12－26 **修订日期：** 2015－04－02
基金项目： 上海市长三角科技联合攻关项目(13395810101)；南京农业大学青年科技创新基金(KJQN201434)
致 谢： 本研究承蒙南京农业大学植物保护学院程遐年教授悉心指导。
* 通信作者 E-mail：hugao@njau.edu.cn

发生起着决定性作用[1-2]。若前期迁入量大而导致褐飞虱暴发,被归类为"基数型"暴发[1-2]。1977 年以来,我国经历了 8 次褐飞虱大发生年,其中基数型暴发年份有 4 年,分别为 1987 年、1991 年、1997 年、2006 年[1-2]。

近年来,长江流域水稻主产区褐飞虱多次大发生,尤其是 2005－2007 年连续 3 年大暴发,对水稻生产构成严重威胁[1, 3-9]。该区域单季中稻一般 5 月中下旬移栽,7 月下旬进入抽穗扬花期,8 月底至 9 月上旬收割。在此期间通常有两个褐飞虱迁入峰期:6 月中下旬至 7 月上旬、7 月中下旬至 8 月上旬,分别对应于华南南部(广东、广西北回归线以南地区)的迁出和华南北部(广东、广西北部和湖南、江西南部)的迁出[2,6,10]。迁入种群在长江流域形成二、三代,8 月中下旬在水稻生长后期发生为害,即在三代后期和四代为害[2,10]。由于褐飞虱属于"*r*-对策"生物,极易通过大规模增殖形成暴发种群[2,8,10]。因此,长江流域通常采用"压前控后"策略防控褐飞虱,即通过防治主害代的前一代,压低虫源基数,控制主害代[2,11-12]。具体到单季中稻田,则是通过防治二代,压低三代的虫源基数。但褐飞虱发生年度间有差异,采用统一、固定的技术模式,有悖于科学,不仅浪费了大量的人力物力,也造成农药的滥用。因此,明确二代种群数量以及前期防控对褐飞虱种群动态的影响对于科学防控和减少用药至关重要。

黄山稻区地处皖南最大的盆地——黄山盆地中央,由于黄山及周围山系阻挡等因素,这里是迁飞性害虫的集散地,常年褐飞虱发生严重。怀卵雌成虫是指卵巢发育至 3 级及以上的长翅型雌成虫,为居留型成虫,代表有效迁入虫源,能真正反映前期迁入虫量。此外,雌成虫怀卵后腹部膨大,个体形态特征突出,易于识别。因此,制定以怀卵雌成虫发生量作为褐飞虱主害代前一代的防治指标,可以降低由于稻飞虱种类、龄期辨识困难所造成的劳作程度和人为误差,对于完善"压前控后"防控策略具有重大意义。本文拟通过褐飞虱二代怀卵雌成虫不同梯度数量下的田间药效试验,来明确黄山市二代褐飞虱怀卵雌成虫数量与后期褐飞虱发生程度的关系。

1 材料与方法

1.1 徽州区褐飞虱系统调查历史数据

为了解徽州区褐飞虱常年发生动态,本文采用南京农业大学提供的 2006－2010 年徽州区系统观测圃褐飞虱种群动态数据和徽州区植保植检站提供的 2006－2014 年逐日褐飞虱灯诱数据,并参考徽州区植保植检站提供的 2006－2014 年大田普查数据。南京农业大学在徽州区设立系统观测圃时选择肥力中等的田块,栽培条件、农艺措施均与其他田块一致,但在整个观测期间不施用农药。

1.2 怀卵雌成虫数量对三代褐飞虱种群影响的田间药效试验

1.2.1 试验地点

本试验于 2012 年在安徽省黄山市徽州区西溪南镇西溪南村(118°17′07.50″E,29°50′35.70″N)水稻高产示范片进行。该示范片地处黄山平原中央,地势平坦、土壤肥沃,灌溉条件优越,由徽州区岩寺镇富民家庭农场、爱云农副产品种植场等种植大户流转承包经营,沿用"油菜-水稻"模式,水稻种植品种有'深两优 5814'、'丰两优 4 号'、'新两优 6 号',栽培条件、农艺措施一致。

1.2.2 试验方法

在二代灯下高峰后第 4 天(7 月 1 日),采用盘拍法调查整个示范片区各田块的褐飞虱虫量。各田块采用平行跳跃法调查 10 点,每点 30 丛。

根据调查结果,选择怀卵雌成虫百丛虫量(x)符合以下梯度的田块:$x \leqslant 0.5$,$0.5 < x \leqslant 1.0$,$1.0 < x \leqslant 2.0$,$x > 2.0$。各梯度分别设二代进行防控和不防控 2 个处理,各处理设 4 个重复,共 32 个重复(田块)。各田块面积大于 600 m^2,不超过 1 200 m^2。

在二代低龄若虫高峰期(7 月 14 日),二代防控处理区采用 25%吡蚜酮(pymetrozine)可湿性粉剂(江苏安邦集团股份有限公司)40 g/667 m^2 防治褐飞虱,其他处理喷相同容量的清水。在三代低龄若虫高峰期,所有处理均用 20% 呋虫胺(dinotefuran)可溶粒剂(日本三井化学 AGRO 株式会社)25 g/667 m^2 进行防治。施药均采用 3WBJ－16DZ 直喷式静电喷雾器,兑水量为 40 kg/667 m^2,施药期间田间保有 3～5 cm 的水层。

当稻飞虱发生进入稳定期(水稻黄熟期),采用盘拍法调查田间褐飞虱百丛虫量。各试验田块采用平行跳跃法调查 10 点,每点 2 丛。并采用大面积巡视目测法,记录调查区内的冒穿情况(即褐飞虱群聚于稻丛茎部持续为害时所造成的水稻成片枯萎倒伏情况),记录冒穿点数和估测冒穿面积比例。

1.2.3 试验数据分析

鉴于试验数据不满足正态分布和方差齐性的要求,利用 Games-Howell 非参数检验进行多重比较。采用广义线性模型对二代怀卵雌成虫数量与黄熟期褐飞虱数量的相关关系进行回归分析。以上数据分析均在 R 软件(版本 3.0.1,http://www.r-project.org/)中完成。

1.3 大田验证

笔者自 2006 年开始调查徽州区田间怀卵雌成虫数量,因此本文采用 2006－2014 年徽州区大田普查数据进行大田验证分析。2006－2011 年,根据二代田间百丛虫量来实施"压前控后"策略[12],若二代田间虫量大于 100 头/百丛,则防治二代。2012－2014 年采用怀卵雌成虫数量来确定是否实施二代防控。大田普查数据是全区平均发生情况。由于历来褐飞虱发生为害较重,在二代田间虫量未达到防控指标时,部分普通农户也会在二代进行防控,此时普查数据往往会低于模型预测值。同时,需要防控时也存在漏治的情况。因此,大田普查数据无法完全反映防控情况。本文依据二代怀卵雌成虫数量和是否防控,基于拟合的广义线性模型,仅预测徽州区大田主害代褐飞虱是否大发生,将预测结果与实际发生情况进行比较。

1.4 褐飞虱发生程度划分

本文中褐飞虱发生程度的划分均参考《稻飞虱测报调查规范》[13]。根据水稻黄熟期田间百丛虫量大小,将发生程度划分为轻(＜500 头)、中等偏轻(500～999 头)、中(1 000～1 999 头)、中等偏重(2 000～2 999 头)、大发生(≥3 000 头)5 个级别。

2 结果与分析

2.1 徽州褐飞虱发生动态

在徽州水稻生产季节褐飞虱迁入有两个主要迁入峰期,前者发生在 6 月下旬至 7 月中旬,后一个峰期出现在 7 月中旬至 8 月上旬(图 1)。2006－2010 年南京农业大学徽州系统观测圃由于不采取任何防治措施,三代褐飞虱均达到大发生水平,出现大面积冒穿,甚至绝收(表 1)。因此,徽州区属于褐飞虱常年重发区。

2012 年,褐飞虱二代迁入量较大,灯诱虫量低于 2006 年、2007 年、2008 年三年,大于其他各年份,三代迁入量为中等(图 1)。7 月 10 日普查,二代田间虫口 125 头/百丛;7 月 26 日普查,平均百丛短翅成虫 46 头,8 月 13 日普查,三代田间虫口 8055 头/百丛,达到了大发生水平。

表 1 徽州区系统观测圃褐飞虱种群大小[1)]

Table 1 Population size of BPH in systemic survey fields in Huizhou

年份/年 Year	怀卵雌成虫百丛虫量/头 No. of pregnant female per 100 hills	二代百丛虫量/头 Individuals per 100 hills in the 2nd generation	三代百丛虫量/头 Individuals per 100 hills in the 3rd generation
2006	3.0(07－15)	120(07－20)	25 915(08－20)
2007	2.5(07－15)	225(07－20)	42 010(08－30)
2008	1.5(07－15)	130(07－20)	17 970(08－21)
2009	0(07－20)	6(07－20)	22 010(08－30)
2010	2.0(07－20)	140(07－20)	57 880(08－30)

1) 括号内表示调查日期(月-日)。
The number in the brackets showed the survey date (month-day).

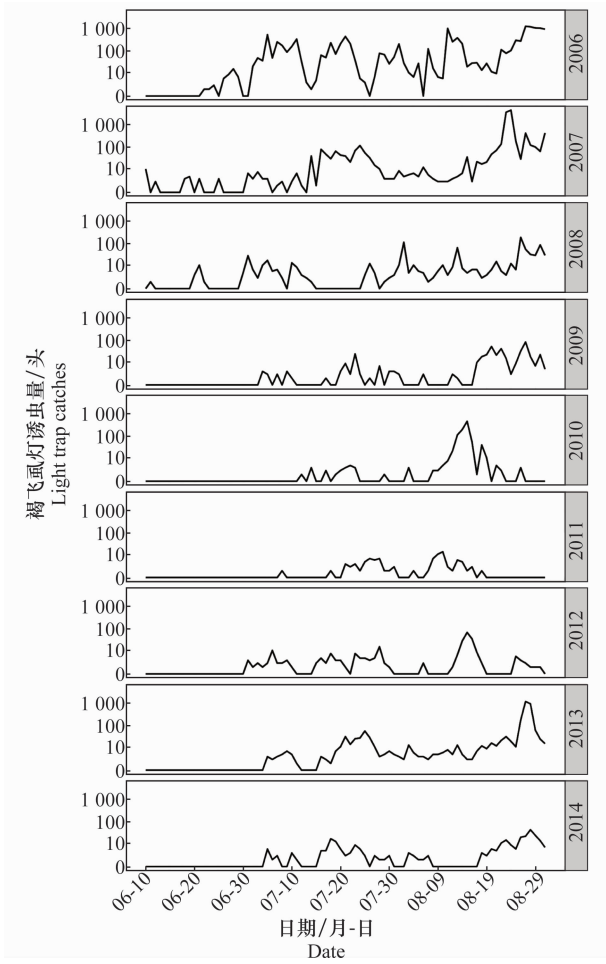

图 1 徽州区 2006－2014 年褐飞虱逐日灯诱虫量

Fig. 1 Daily light trap catches of BPH in Huizhou, Anhui Province in 2006－2014

2.2 怀卵雌成虫数量与前期防控对三代褐飞虱发生程度的影响

当怀卵雌成虫数量≤0.5 头/百丛时,无论二代防治与否,仅在主害代低龄若虫高峰期防治 1 次,田间

虫量低于 2 000 头/百丛，处于中等发生程度，田间未出现明显为害（表 2），Games-Howell 检验，两者之间田间虫量无显著差异（表 3）。因此，二代不需要防治，在主害代低龄若虫高峰期用药防治一次，即可解决全季褐飞虱危害。

当怀卵雌成虫数量＞0.5 头/百丛时，若二代不采取防治，仅在三代重点防控，最终百丛虫量达 2 500 头以上，田间均出现明显为害，即在主害代低龄若虫高峰期一次性用药无法控制褐飞虱为害。因此，需要进行多次防治才能压制种群数量。采取“压前控后”策略时，当怀卵雌成虫数量≤2.0 头/百丛时，二、三代各防控一次，能够明显压低褐飞虱种群数量，黄熟期田间总虫量低于 1 500 头/百丛，均未出现明显为害（表 2）。Games-Howell 检验，处理 C 与处理 D、处理 E 与处理 F 之间田间总虫量均存在显著差异（表 3）。

当怀卵雌成虫数量＞2.0 头/百丛时，二代不采取防治，仅在三代低龄若虫高峰期防治 1 次，最终百丛虫量达 15 000 头左右，冒穿面积达 35.00%。若二代进行防治，最终百丛虫量也超过 3 000 头，达到重发生水平，但虫量明显低于二代未防治的田块，冒穿面积仅为 3%（表 2）。Games-Howell 检验，处理组 G、H 之间田间总虫量存在显著差异（表 3）。

表 2 褐飞虱防控田间试验结果[1)]

Table 2 The result of field experiment of BPH control

处理 Treatment	级别 Level	是否防控 Control or not	二代怀卵雌成虫百丛虫量 No. of pregnant female per 100 hills in the 2nd generation		三代百丛总虫量 No. of all individuals per 100 hills in the 3rd generation		冒穿 Hoper-burn	
			平均值 Mean	方差 Variance	平均值 Mean	方差 Variance	点数 No. of spots	冒穿面积比例/% Percentage of hoper-burn area
A	$x\leqslant 0.5$	是	0.33	0	42.5	3 225	0	0
B	$x\leqslant 0.5$	否	0.33	0	1 580	285 666.7	0	0
C	$0.5<x\leqslant 1$	是	0.84	0.036 3	92.5	10 808.33	0	0
D	$0.5<x\leqslant 1$	否	0.84	0.036 3	2 840	113 400	1	0.25
E	$1.0<x\leqslant 2.0$	是	1.67	0.074 8	1 117.5	81 825	0	0
F	$1.0<x\leqslant 2.0$	否	1.67	0.074 8	6 395	1 254 767	7	16.25
G	$x>2.0$	是	2.50	0.038 5	3 490	177 533.3	4	3
H	$x>2.0$	否	2.50	0.038 5	14 917.5	10 133 892	25	35

1) 处理的级别用怀卵雌成虫百丛虫量表示。
The levels of each treatment were presented by the number of pregnant female per 100 hills.

表 3 褐飞虱三代田间总虫量的 Games-Howell 多重比较结果[1)]

Table 3 Multiple comparison of number of BPH in the 3rd generation by Games-Howell Test

处理组 Class	t	df	P	处理组 Class	t	df	P
A：B	5.721 1	3.067 7	0.061 1	C：E	6.735 5	3.779 0	0.023 5*
A：C	0.844 1	4.643 9	0.979 7	C：F	11.204 7	3.051 7	0.009 1**
A：D	16.383 4	3.170 5	0.002 3**	C：G	15.657 3	3.363 9	0.002 0**
A：E	7.372 3	3.236 1	0.026 3*	C：H	9.309 0	3.006 4	0.016 3*
A：F	11.327 5	3.015 4	0.009 2**	D：E	7.796 9	5.847 0	0.003 0**
A：G	16.217 5	3.109 0	0.002 6**	D：F	6.078 6	3.537 9	0.038 4*
A：H	9.343 9	3.001 9	0.016 2*	D：G	2.410 2	5.721 9	0.374 6
B：C	5.463 8	3.226 7	0.063 4	D：H	7.545 8	3.067 1	0.028 2*
B：D	3.989 1	5.057 6	0.087 7	E：F	9.129 7	3.389 6	0.011 8*
B：E	1.525 9	4.588 3	0.772 8	E：G	9.317 2	5.280 9	0.001 9**
B：F	7.759 0	4.298 7	0.009 6**	E：H	8.635 2	3.048 4	0.019 5*
B：G	5.612 8	5.689 9	0.017 2*	F：G	4.854 7	3.832 3	0.067 2
B：H	8.263 8	3.169 0	0.019 8*	F：H	5.050 8	3.731 7	0.062 0
C：D	15.591 7	3.566 7	0.001 5**	G：H	7.117 4	3.105 1	0.032 3*

1) A～H 各处理含义详见表 2。
The meanings of “A-H” were shown in table 2.

2.3 基于怀卵雌成虫数量与前期防控的三代褐飞虱种群数量预测模型

由于水稻黄熟期三代褐飞虱数量符合泊松分布，且存在过离散现象，采用准泊松分布进行拟合。拟合模型为：

$$\log(y) = 0.943x - 3.191c + 0.703xc + 7.200$$

其中,y 为三代田间百丛虫量;x 为二代田间怀卵雌成虫百丛虫量;c 表示二代是否防治,$c=1$ 表示二代防治;$c=0$ 表示二代不防治。

该模型表明,二代怀卵雌成虫数量决定了三代褐飞虱数量($P<0.000\ 1$),而对二代进行防治能够明显降低三代褐飞虱数量($P<0.000\ 1$)。二代是否防治和怀卵雌成虫数量两者之间存在明显的交互作用(图 2;表 3~4)。当怀卵雌成虫数量比较低时,二代防治与否,三代田间虫量之间没有显著差别(表 3)。当怀卵雌成虫数量比较大时,二代防治能显著降低三代种群数量(表 3)。

基于该模型,可计算得无需采用"压前控后"策略时怀卵雌成虫数量为 0.425 头/百丛,以及无论二代防治与否三代都会大发生的怀卵雌成虫数量为 2.429 头/百丛。

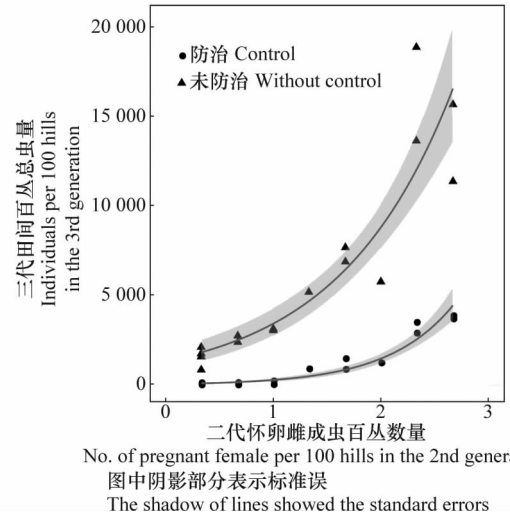

图 2　褐飞虱二代怀卵雌成虫数量与三代田间总虫量

Fig. 2　Relationship between numbers of pregnant female in the 2nd generation and all individuals in the 3rd generation of BPH

表 4　基于准泊松分布的广义线性模型参数

Table 4　Parameters of GLM model based on quasipoisson distribution

因变量 Dependent variable	自变量 Independent variable	估计值 Estimate	标准误 SE	t	P
三代田间虫量 No. of BPH in the 3rd generation	截距　Intercept	7.200	0.166	43.323	<0.000 1
	怀卵雌成虫数量　No. of pregnant female	0.943	0.079	11.949	<0.000 1
	防治　Control	−3.191	0.602	−5.305	<0.000 1
	怀卵雌成虫数量:防治　No. of pregnant female:Control	0.703	0.260	2.705	0.012

2.4　大田验证

依据原有标准[12],2006—2014 年 6 月 20 日—7 月 20 日期间田间虫量大于 100 头/百丛的年份有 4 年,分别为 2006—2008、2012 年,即 4 年需要对二代进行化学防控。而根据怀卵雌成虫数量大于 0.4 头/百丛,需要对二代进行化学防控的有 6 年,比原有标准增加了 2010 年和 2013 年。

怀卵雌成虫数量大于 2.4 头/百丛的 3 年中,除 2007 年外,不管二代防控与否,其余 2 年褐飞虱均大发生,与预测结果一致。怀卵雌成虫数量大于 0.4 头/百丛的 6 年之中,除 2010 年没有实施"压前控后"策略外,其余 5 年均对二代进行了化学防控。依据怀卵雌成虫数量和二代是否防控,预测徽州区大田褐飞虱是否大发生,其预计情况与实际发生情况相比,除 2007 年、2012 年外,其他年份均一致,吻合率达 77.78%。

表 5　2006—2014 年徽州区褐飞虱大田发生情况[1)]

Table 5　Population size of BPH in farms' paddies at Huizhou during 2006—2014

年份 Year	怀卵雌成虫百丛虫量/头 No. of pregnant female per 100 hills	田间百丛虫量/头 No. of individuals per 100 hills		是否防控 Control or not	模型预测 Model for prediction	是否大发生 Outbreak or not	
		二代 2nd generation	三代 3rd generation			预计值 Predicted value	实际值 Actual value
2006	3.8(07-14)	120(07-16)	5 077(08-21)	是	28 586	是	是
2007	5.0(07-14)	225(07-20)	1 786(08-17)	是	205 865	是	否
2008	1.3(07-15)	207(07-14)	1 618(08-26)	是	468	否	否
2009	0(07-10)	26(07-10)	226(08-24)	否	1 339	否	否
2010	2.5(07-15)	6.3(07-15)	6 008.5(08-26)	否	14 134	是	是
2011	0(07-15)	6.3(07-16)	267(08-26)	否	1 339	否	否
2012	2.2(07-02)	254(07-20)	8 055(08-13)	是	2 055	否	是
2013	1.7(07-10)	66(07-14)	2 425(08-18)	是	903	否	否
2014	0.33(07-05)	21(07-16)	997(08-30)	否	1 828	否	否

1) 括号内表示调查日期(月—日)。
The number in the brackets showed the survey date (month-day).

3 讨论

害虫种群大小主要决定于 3 个基本参数，即初始种群数量、种群增长倍数和防治效果[9]。徽州区系统观测圃不采取任何防治措施，褐飞虱种群均出现大暴发，造成大面积冒穿。这表明，在当前水稻种植制度下，单季中稻田由于田间郁闭程度增加，田间食料及小气候适宜，褐飞虱种群增长倍数始终异常高[7-9]。大田普查时也发现 7 月中下旬褐飞虱高龄若虫短翅化现象十分普遍，造成种群增长迅猛。由于褐飞虱种群增长倍数始终偏高，初始种群数量成为决定因素，才能直接影响后期种群大小。因此，尽管本试验仅 2012 年一年的数据，试验结果仍然可以适用于其他年份。2006－2014 年大田大发生情况，与模型预测基本一致，亦表明二代褐飞虱怀卵雌成虫数量是否大于 2.4 头/百丛可用于预测褐飞虱是否会大发生。另一方面，本文中的怀卵雌成虫为长翅型居留型成虫，可代表有效迁入虫量，其发生数量较多不仅表明当年迁入量较大，同时也意味着温湿度、食料等条件适宜。

目前褐飞虱防治指标一般采用百丛虫量法[12]，但长江流域水稻主产区主害代的前一代通常灰飞虱、白背飞虱、褐飞虱“三虱”混发，低龄若虫、高龄若虫、成虫混合交替，要达到正确辨识 3 种稻飞虱，精确褐飞虱百丛虫量，尤其是低龄若虫，技术门槛要求较高，结果往往造成虫情判断失误，从而无法实现精准测报，造成农药滥用或防治不及时，导致环境污染或严重产量损失。在田间调查（系统调查、普查）中，怀卵雌成虫、短翅雌成虫、高龄若虫等个体较大，形态特征突出，易于识别，决定下一代的种群数量，是发生量预测的关键因子。但二代为主迁入代，短翅成虫田间并不常见，仅在一代迁入量极大，气候条件适宜时才能偶尔发现；而高龄若虫数量波动幅度较大。综合分析，怀卵雌成虫在发生时期、形态特征，特别是发生量稳定性等都符合“压前控后”策略中“压前”防治指标参数的要求。根据本文研究所拟合的广义线性模型，可基于二代怀卵雌成虫百丛虫量(x)分别采取不同的防控策略：(1)$x \leqslant 0.4$ 时，在主害代低龄若虫高峰期用药一次，即可控制全季褐飞虱危害；(2)$0.4 < x \leqslant 2.4$ 时，需要采取“压前控后”的策略，即在二、三代低龄若虫高峰期各施药一次，才能有效控制褐飞虱发生危害；(3)$x > 2.4$ 时，采取“压前控后”策略，可以大大降低后期发生量，但褐飞虱仍会大发生。该方法不仅简便易行，而且还可以预估褐飞虱后期发生程度。并且在 2006－2014 年的大田验证中，仅 2007 年、2012 年不符合。2007 年稻纵卷叶螟大暴发，采用毒死蜱等广谱性的杀虫剂，多次用药，用药量大，压制了褐飞虱种群的增长[6]。2012 年雌成虫数量达 2.2 头/百丛，与大发生指标的 2.4 头/百丛接近。

参考文献

[1] Hu Gao, Xie Maochang, Lin Zuoxiao, et al. Are outbreaks of *Nilaparvata lugens* (Stål) associated with global warming? [J]. Environmental Entomology, 2010, 39(6): 1705－1714.

[2] 程遐年，吴进才，马飞. 褐飞虱研究与防治[M]. 北京：中国农业出版社，2003.

[3] 翟保平. 稻飞虱：国际视野下的中国问题[J]. 应用昆虫学报，2011，48(5)：1184－1193.

[4] Hu Gao, Lu Fang, Zhai Baoping, et al. Outbreaks of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) in the Yangtze River Delta: immigration or local reproduction? [J]. PLoS ONE, 2014, 9(2): e88973.

[5] Bottrell D G, Schoenly K G. Resurrecting the ghost of green revolutions past: the brown planthopper as a recurring threat to high-yielding rice production in tropical Asia [J]. Journal of Asia-Pacific Entomology, 2012, 15: 122－140.

[6] Hu Gao, Cheng Xianian, Qi Guojun, et al. Rice planting systems, global warming, and outbreaks of *Nilaparvata lugens* (Stål)[J]. Bulletin of Entomological Research, 2011, 101(2): 187－499.

[7] 齐国君，肖满开，吴彩玲，等. 水稻种植制度变化对褐飞虱暴发种群形成的影响[J]. 植物保护学报，2010，37(3)：193－200.

[8] 程家安，祝增荣. 2005 年长江流域稻区褐飞虱暴发成灾原因分析[J]. 植物保护，2006，32(4)：1－4.

[9] 肖满开，何木兰，余夕辉，等. 安庆褐飞虱近三个大发生年虫源和气候条件的比较分析[J]. 昆虫知识，2008，45(1)：46－50.

[10] 程遐年，陈若篪，习学，等. 稻褐飞虱迁飞规律的研究[J]. 昆虫学报，1979，22(1)：1－20.

[11] 全国褐稻虱综合防治研究协作组. 褐稻虱防治技术[J]. 农业科技通讯，1977(6)：32－33.

[12] 张夕林，张建明，张谷丰，等. 中晚粳稻区褐飞虱二代的防治指标和防治策略[J]. 南京农业大学学报，1999，22(1)：42－45.

[13] 农业部农作物病虫害测报站. GB/T 15794－1995，稻飞虱测报调查规范[S]. 北京：中国标准出版社，1995.

（责任编辑：王 音）