应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2011,48(5):1213—1221

白背飞虱的迁飞生物学:江苏苏州个例分析*

汪远昆** 罗 举 张孝羲 翟保平***

(南京农业大学植物保护学院昆虫学系 农作物生物灾害综合治理教育部和农业部重点实验室 南京 210095)

摘 要 对苏州市吴中区1984—2002年灯诱数据的分析表明,白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth) 的灯下始见期一般在6月上旬,而主迁峰日则一般出现在7月上旬。1996年后,始见期有提前的趋势。对18年灯诱虫量的时间序列分析表明,田间迁入代虫量与6月份的灯诱虫量相关,田间第1代虫量与迁入代虫量相关,第2代则只与田间第1代和8月份的诱虫量相关。对1986—2002年吴中区白背飞虱田间虫量的分析表明,白背飞虱在田间一般要完成2个世代,20世纪90年代中期之后会出现第3代,表现出低迁入率(平均百穴21头)、高增殖倍数(G1/G0在30~200倍左右)和高峰值密度(16年平均百穴3 200头)的种群特征。此间白背飞虱长翅型成虫的比率不高,迁入后便像褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 那样形成了滞留本地的增殖代(7月20日到8月10日)和以本地滞留为害与部分迁出个体混合而成的主害代(8月15日到9月5日),直到8月下旬和9月上中旬,其长翅型比率才会有大幅回升开始回迁,呈现出翅型长-短-长的变化模式。

关键词 白背飞虱,迁飞特性,种群动态

Migratory biology of the white backed planthopper: Case studies in Suzhou, Jiangsu Province

WANG Yuan-Kun** LUO Ju ZHANG Xiao-Xi ZHAI Bao-Ping***

(Department of Entomology, College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Key Laboratory of Integrated Management of Crop Diseases and Insect Pests, Ministry of Education, Ministry of Agriculture of China, Nanjing 210095, China)

Abstract The immigration behaviour of the white-backed planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth) (WBPH) was analyzed based on light-trap catches in Wuzhong, Suzhou from 1984 to 2002. The first captures were in early June but appear to have occurred progressively earlier since 1996. The peak of immigration also occurred in early July. The number of immigrants in paddy fields was correlated with light trap catches in June and determined the local population size of the first and second generation. Based on field survey data from 1986 to 2002, we found that the WBPH emigration behaviour has also changed gradually since the mid 1990's. Generally, the offspring generation of immigrants would mostly emigrate when the macropterous adults emerged, but like brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) (BPH), a proliferation generation (20 July - 10 Aug.) and a damage generation (15 Aug. - 5 Sep.) have subsequently been observed. The ratio of macropterous individuals in the population was not high in these generations until the appearance of the emigrant generation in September. The population characteristics can be characterised as low immigration (mean 21 hoppers per 100 hills), high proliferation (G1/G0, 30 - 200 times) and high peak density (16 year mean of 3 200 hoppers per 100 hills). The latter has a new wing-form pattern in successive generations of 'macropterous-brachypterous-macropterous'.

Key words *Sogatella furcifera*, migratory characteristics, population dynamics

一般认为,稻田前期迁入的稻飞虱(褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) (BPH)、白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth) (WBPH)长翅型成虫是田间种群发展的基础,但此后种群的增殖则取决于短翅型成虫的多寡(程家安等 1991;程遐年等,2003)。据陈钰瑛和王茂涛(1996)的研究,长

* 资助项目:国家973项目(2010CB126201)、公益性行业(农业)科研专项(200903051)、国家水稻产业技术体系建设项目(nycytx-001)。

** E-mail: wangyk@shciq.gov.cn

*** 通讯作者, E-mail: bpzhai@njau.edu.cn

收稿日期:2011-08-12,接受日期:2011-09-01

江中下游及江淮稻区的褐飞虱迁入代成虫产卵繁殖后的子代即增殖代(平均增殖倍数为 8.84),如果此时环境条件适宜(如凉夏),则增殖代多短翅型成虫;经一个世代的繁殖形成主害代(平均增殖倍数可达 19.8),往往形成大发生种群,并在有合适风场时为长三角稻区提供大规模的后期迁入虫源,如 2005 年和 2006 年(翟保平和程家安,2006)。苏南和沿江的晚粳及迟熟中粳上的第 3 代褐飞虱如遇暖秋天气则极易出现暴发。但全国白背飞虱科研协作组(1981)、赖仲廉(1982)、朱学威(1985)等在 20 世纪 80 年代的研究已经表明,白背飞虱从虫源地迁入后,繁殖的第 1 代即有一定数量的长翅型成虫外迁;此后各代长翅型成虫的比率一般可达 80% 以上,而且其迁出行为不受水稻生育期的限制,不存在明显的本地繁殖世代。显然,白背飞虱的迁飞生物学与褐飞虱有很大不同。而王荣富等(1997,1998)的研究表明,白背飞虱与褐飞虱混合发生时种间有竞争和互作的影响,褐飞虱的存在使得白背飞虱种群的长翅型比率大大增加。

进入 20 世纪 90 年代,杂交水稻品种大面积推广和吡虫啉的大范围高强度应用使褐飞虱的种群数量急剧下降,白背飞虱取代褐飞虱而成为水稻的重要害虫(汤金仪等,1996;唐启义等,1998)。如果褐飞虱缺席,白背飞虱的种群动态和迁飞生物学会有怎样的改变?为此,作者对苏州市吴中区 1984—2002 年白背飞虱灯诱数据和 1986—2002 年的田间虫量进行综合分析,解析白背飞虱的迁入迁出动态,阐释新形势下白背飞虱的种群特性和数量变化,以期为白背飞虱的预测和治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

本试验 2001 年和 2002 年在苏州市吴中区进行。该地水稻是单季晚稻,每年大约在 6 月中旬移栽,11 月上旬左右收割。水稻品种为当地品种,大面积种植的是 9522 和 8204 两个品种。

1.2 田间调查

采用“盘拍法”,调查大田和预测圃的白背飞虱的各种虫态的数量,若虫分为 5 龄,每次用白瓷盘拍查 20 穴,所得虫量换算成百穴虫量。调查间隔一般为 5 d。调查时间一般从 6 月份开始,大田到 8 月底左右结束,预测圃一般到 9 月底。大田按时进行药剂防治,预测圃不进行药剂防治。

历史资料由吴中区植保站提供。田间世代划分,从分虫期种群动态曲线图以及发育期出发,确定各世代的起讫时期,并得出各世代的高峰虫量。

1.3 卵巢解剖

将雌虫背部向上,用昆虫针从中胸背板中央插入,将其固定在盛有薄层清水蜡盘上;在实体解剖镜下,用镊子夹住白背飞虱腹部末端,同时用昆虫针从虫体胸部与腹部交接处轻轻刺入,沿背板与腹板交界线向后划开,然后用解剖针拨去腹背板,露出内部各器官;再用解剖针从胸部和腹部交接处向后挑、拨内部器官,即可剖出左右一对卵巢及其它器官,并漂浮在清水上。

卵巢发育程度的分级参照全国白背飞虱科研协作组(1981)提出的分级标准。各世代虫源性质按一个世代中卵巢发育级别的平均比例来判别:迁入代的卵巢发育程度高,高级别卵巢(3 级及以上)占绝对多数;如果主要是迁出代,则低级别的占绝对多数(1 级和 2 级卵巢的比率在 80% 以上);若是本地发生的,各个级别的比例相差不大。

1.4 灯诱数据

灯诱工具为病虫测报标准诱虫灯,每天日落开灯,日出关灯。

白背飞虱在长江中下游沿江稻区常年可发生 4 代。在江苏南部地区,长翅型成虫一般在 6 月中旬始见迁入。将每年灯下最初见虫日作为始见期,灯下出现成虫突增日起到高峰后突减日作为一个迁入峰,将当日上灯虫量最多的一天作为主迁峰日。

1.5 数据分析

稻飞虱灯下和田间的历史数据由苏中区植保站提供,用 Exel 2000 和 DPS 2000 数据处理系统统计分析。

2 结果与分析

2.1 迁入种群的数量动态

在 20 世纪 90 年代以前,吴中区白背飞虱上灯始见期年度间变异较大。1987 年前和 1996 年之后,始见期逐渐提前。90 年代初期比较一致,主要时间是在 6 月上旬。最早上灯的是 1987 年和

2001 年,都是 5 月 21 日始见,最迟则是 1984 年 7 月 2 日。而主迁峰日相对于始见日来说,则比较一致。但 90 年代后期也有提前的倾向(图 1)。统计分析,始见期与主迁入峰日显著相关($r = 0.5707^{*}$, $P < 0.05$),而与 7 月 20 日前累计迁入虫量呈极显著负相关($r = -0.638^{**}$, $P < 0.01$)。这表明,白背飞虱的迁入日出现越早,则迁入峰出现也越早,而且迁入代的虫量也较大。年度间的灯诱数量变化也较大。最高虫量出现在 1987 年,总上灯量达 34 109 多头; 其次是 1991 年,年上灯量 16 293 头; 最低则是 2001 年,全年只有 423 头(图 2)。

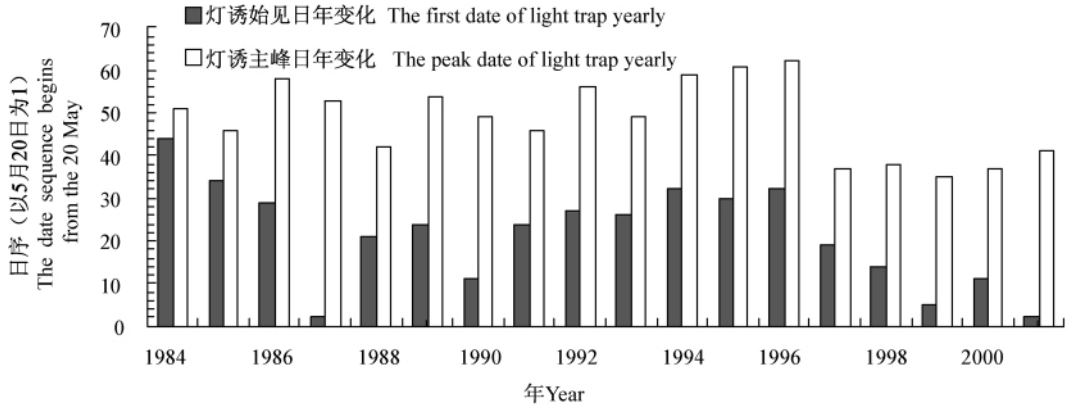

图 1　吴中区历年白背飞虱灯诱始见期和高峰日的年变化(以 5 月 20 日为 1)

Fig. 1　The first and peak immigration date of the light trap catches of WBPH in Suzhou

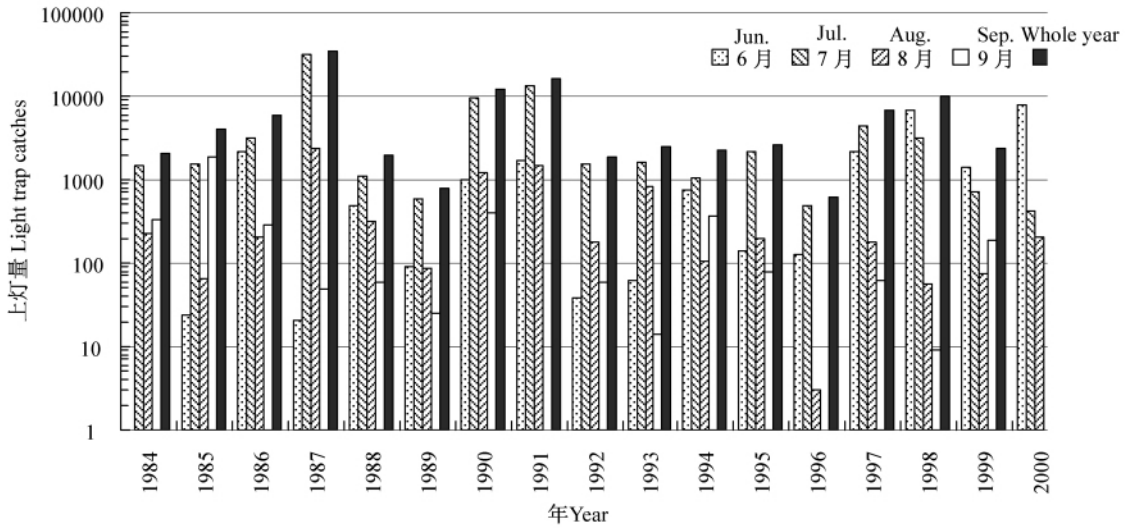

图 2　苏州吴中区灯诱虫量的年度间变化

Fig. 2　The annual fluctuation of the light-trap catches of WBPH in Suzhou

灯下不同时段的诱虫量与田间各代高峰虫量(表 1)的相关分析表明,田间迁入代虫量只与 6 月 20 日前($r = 0.9983^{**}$)和 6 月下旬($r = 0.5911^{*}$)的灯诱虫量显著相关。田间第 1 代与 6 月 20 日前($r = 0.7650^{**}$)、6 月下旬($r = 0.7744^{**}$)和 7 月上旬($r = 0.5317^{*}$)的诱虫量也表现出显著相关,第 2 代虫量与 7 月份以前的灯下虫量不相关,而与 8 月上旬($r = 0.6535^{*}$)和中旬($r = 0.6949^{**}$)的上灯虫量显著或极显著相关。田间迁入代($r = 0.6989^{**}$)和第 1 代虫量($r = 0.5252^{*}$)表现显著相关,说明田间第 1 代的虫量主要受迁入虫量的影响。但是田间高峰虫量与全年上灯虫量不相关。

2.2 田间种群结构和数量的变化

从图 3 可以看出，田间白背飞虱一般发生 2 个世代，世代高峰分别在 7 月 10—20 日，8 月 5—15 日，有的年份还发生第 3 代，高峰虫量在 9 月 10 日左右。一般在 8 月上旬，田间虫量达到最大，8 月下旬田间虫量极低。在大发生的年份，可能会发生 4 个世代，而最大虫量会出现在 9 月份，田间虫量可以持续到 10 月（图 3 中 1986，1991，1994，1997，2002；图 4）。在田间，一般在 7 月下旬开始出现短翅型，即田间第 2 代，短翅型出现的高峰期在 7 月下旬到 8 月上旬之间。不同的年间其比例变异也比较大（图 3a，3b，3c）。

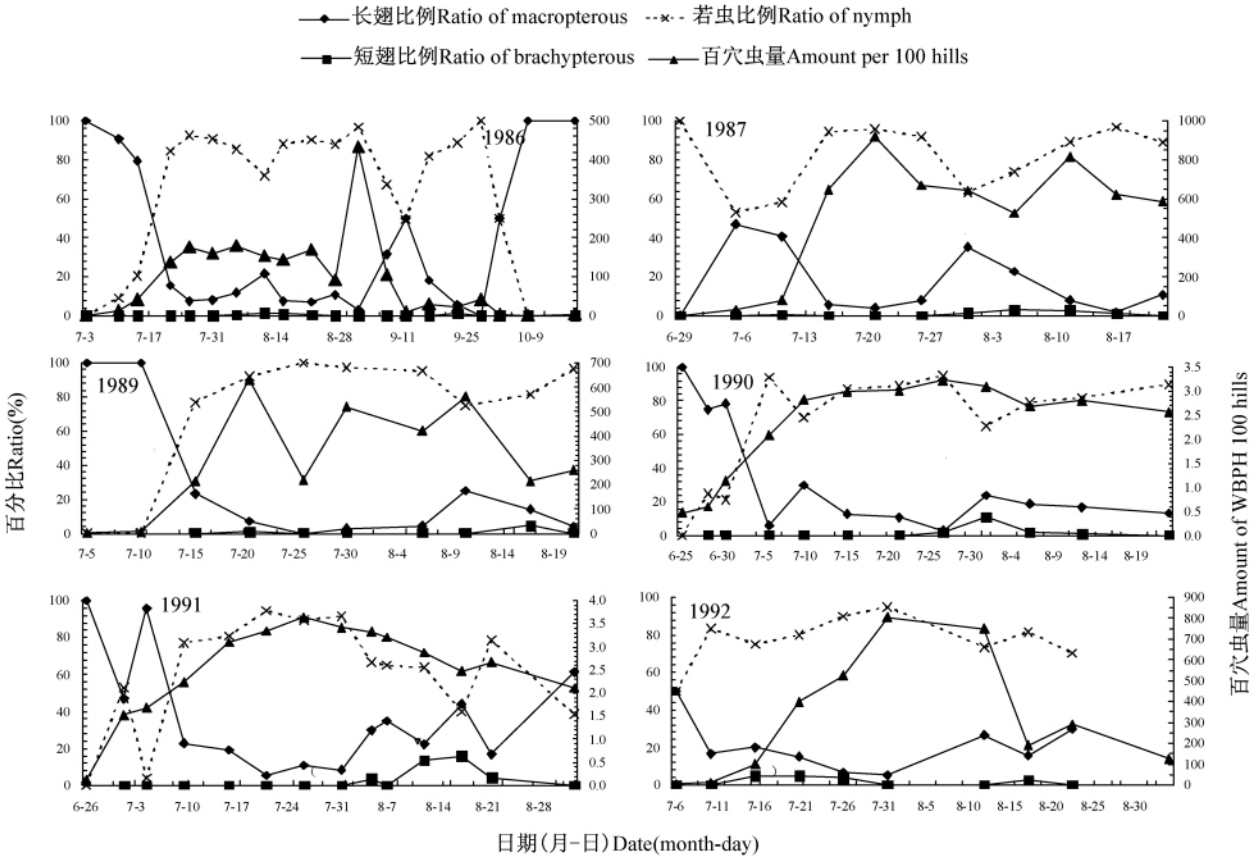

图 3a 田间预测圃历年虫量变动（1990、1991 两年的百穴虫量为对数值）

Fig. 3a The annual fluctuation of WBPH in a no-chemical-used paddy

(The amounts of WBPH in 1990 and 1991 are log with base 10)

从图 3 和表 2 可知，吴中区白背飞虱的种群动态特征可以表述为：低迁入率（平均 21 头/100 穴），高增殖倍数（G1/G0 在 30～200 倍左右），高峰值密度（16 年平均百穴 3 200 头）。从种群的翅型分化看，长翅型成虫的比率不高，远低于 20 世纪 80 年代前期和近年的发生情况。这里，白背飞虱也像褐飞虱那样形成了迁入后的增殖代和主害代，其长翅型比率往往从迁入代迅速下降，直到 8 月下旬和 9 月上中旬才会有大幅回升开始回迁（图 4）。从卵巢解剖结果看，白背飞虱迁入后的增殖代确实是本地繁殖世代（7 月 20 日到 8 月 10 日），其主害代则属于本地滞留为害与部分迁出个体的混合种群（8 月 15 日到 9 月 5 日），直到 9 月中旬后才成为迁出代（9 月 10 日到 10 月 5 日）（图 5）。这就基本上与褐飞虱相似了，呈现出翅型长－短－长的变化模式。

而从图 6 可知，田间褐飞虱一般在 7 月中旬田间始见，8 月中旬以前，稻田中的优势种是白背飞虱。后期褐飞虱的种群开始上升，白背飞虱的数量就逐渐减少。2000 年后，田间褐飞虱数量一直很低，但 2000、2001 年白背飞虱在预测圃中的后期虫量并未增加，2002 年则直到 10 月份田间还

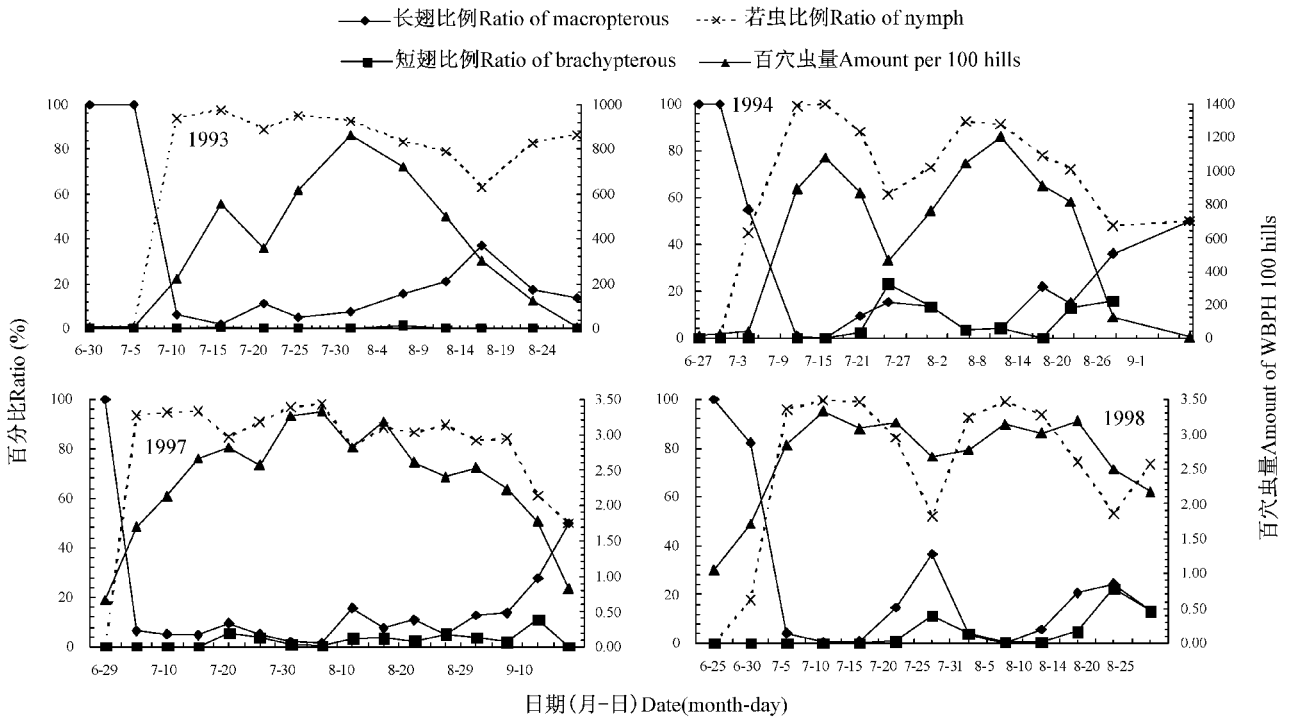

图 3b　田间预测圃历年虫量变动(1997、1998 2 年的百穴虫量为对数值)

Fig. 3b　The annual fluctuation of WBPH in a no-chemical-used paddy

(The amounts of WBPH in 1997 and 1998 are log with base 10)

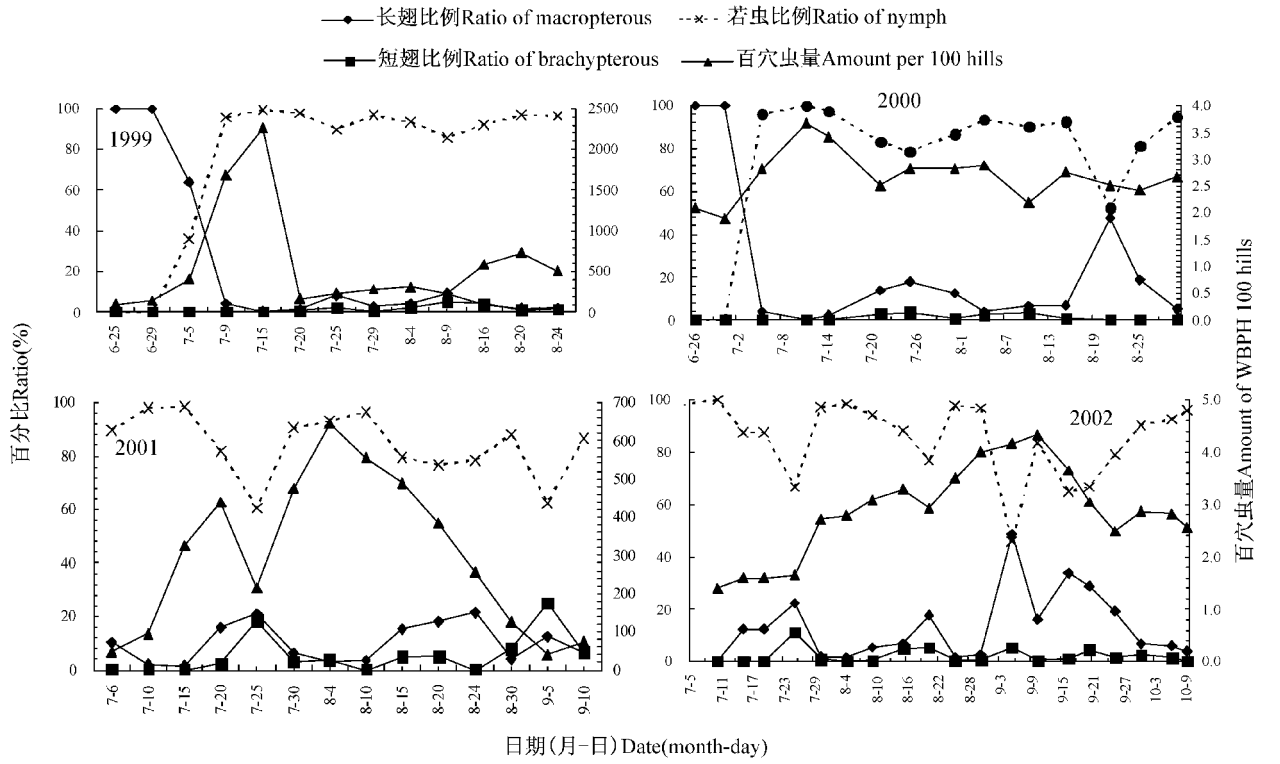

图 3c　田间预测圃历年虫量变动(2000、2002 2 年的百穴虫量为对数值)

Fig. 3c　The annual fluctuation of WBPH in a no-chemical-used paddy

(The amounts of WBPH in 2000 and 2002 are log with base 10)

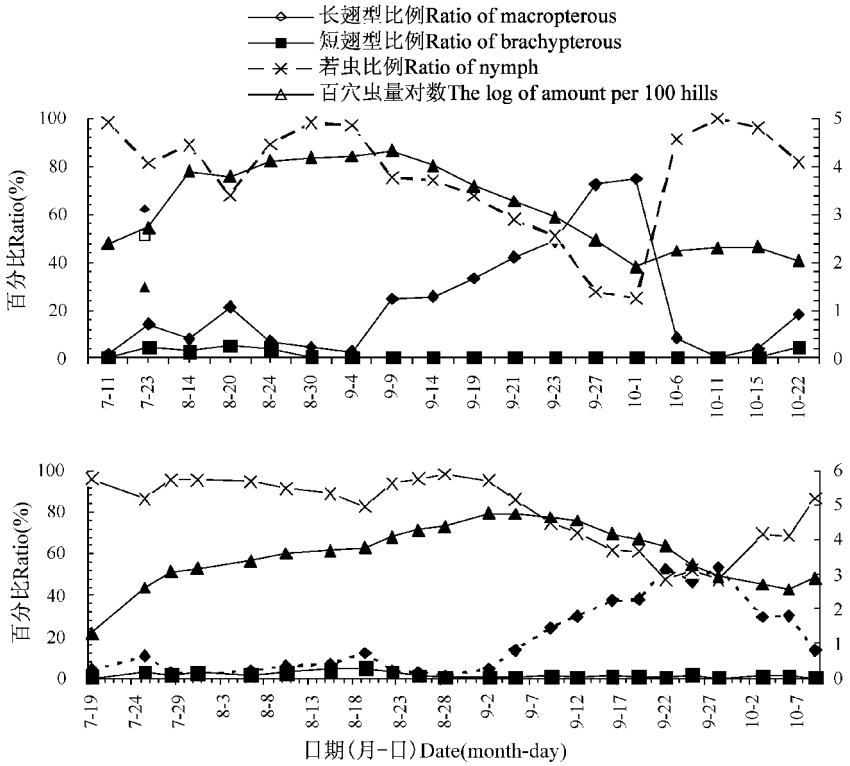

图 4 苏香粳上白背飞虱种群动态(上:2001 年,下:2002 年)

Fig. 4 The annual fluctuation of WBPH on the variaty of Suxiang Jing in paddy fields (up: 2001; down: 2002)

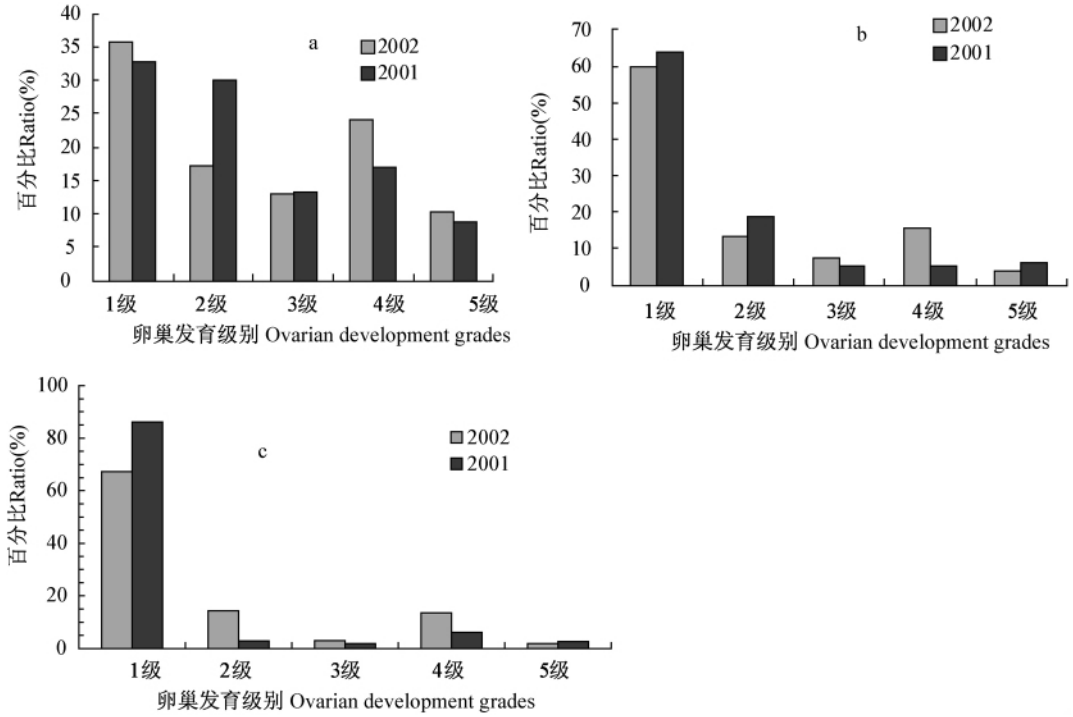

图 5 白背飞虱田间种群的卵巢解剖情况

Fig. 5 The ovarian development of the macropterous adults of WBPH in Suzhou in 2001 and 2002

a: 7 月 20 日 – 8 月 10 日 (20 July – 10 August); b: 8 月 15 日 – 9 月 5 日 (15 August – 5 September); c: 9 月 10 日 – 10 月 5 日 10 (September – 5 October).

表 1　吴中区历年灯下诱虫量与各代高峰虫量

Table 1　The light trap catches and the peak size of each generation of WBPH in Suzhou

年份 Year	灯下诱虫量 (Light trap catches)							田间高峰虫量 (Peak density of WBPH /100 hills)			
	6 月 (June)		7 月 (July)			8 月 (August)					
	20 日以前 Before 20	下旬 Late	上旬 Early	中旬 Middle	下旬 Late	上旬 Early	中旬 Middle	迁入代 Immigrant	第 1 代 1st generation	第 2 代 2nd generation	第 3 代 3rd generation
1986	29	2 213	186	2 530	402	130	17	0.75	180	433	42.5
1987	20	3	9 523	12 044	9 756	1 444	125	3.3	920	817	–
1988	17	170	868	165	56	16	43	14.67	1 045	7 135	–
1989	31	62	154	455	17	10	34	1	630	560	–
1990	176	812	6 695	2 559	160	1 168	50	2.6	1 895	645	–
1991	356	1 368	7 929	4 349	834	1401	33	1.33	4 310	470	130
1992	13	25	4	1 522	49	31	136	4	805	290	–
1993	7	56	955	421	242	96	713	8.4	555	865	300
1994	0	763	97	908	33	9	28	26	1 080	1 205	125
1995	8	130	345	1 792	38	142	38	5	1100	523	–
1997	21	2 108	1456	2 850	207	111	10	4.6	656.7	2150	340
1998	49	6 689	2 681	347	185	25	27	11.2	2 130	1 366.7	313.33
1999	8	1 396	322	333	54	0	0	94	2 266	307.5	730
2000	27	7 673	123	88	208	0	177	124	4 645	755	325
2001	50	140	64	62	4	67	7	49	440	645	125

表 2　田间 2 种稻飞虱各世代高峰密度和种群增长倍数 (头/百穴)

Table 2　The peak density /100 hills and population growth of WBPH and BPH in paddy fields

种类	年份 (Year)	G0	G1	G2	G3	G1/G0	G2/G1	G3/G2	平均增长倍数 (Mean)
白背飞虱 WBPH	1997	4.6	656.7	2150	340	142.76	3.27	0.16	48.73
	1998	11.2	2 130	1 366.7	313.33	190.18	0.64	0.23	63.68
	1999	94	2 266	307.5	730	24.11	0.14	2.37	8.87
	2000	124	4 645	755	325	37.46	0.16	0.43	12.68
	2001	49	440	645	125	8.98	1.47	0.19	3.55
	2002	5	45	1 965	21 335	9.00	43.367	10.86	21.08
平均值 (Mean)		47.97	1 697.12	1 198.2	3 861.39	68.75	8.17	2.37	
褐飞虱 BPH	1997	5	237.8	2 643.3	1 486.7	47.56	11.12	0.56	19.75
	1998	4.2	178.3	1310	33.3	42.45	7.35	0.03	16.61
	1999	4	20.5	364	1 846.25	5.13	17.76	5.07	9.32
	2000	0.3	4	145	22.5	13.33	36.25	0.16	16.58
	2001	0.3	12	23	79.43	40.00	1.92	3.45	15.12
	2002	3.8	36	121	21	9.47	3.36	0.17	4.34
平均值 (Mean)		2.93	81.43	767.71	581.53	26.32	12.96	1.57	

有白背飞虱(图 3c,图 4,图 6)。从表 2 也可以看出,白背飞虱增值最快的世代是第 1 代,1997,1998 和 2001 年的变化趋势一致,第 1 代的增值倍数最大,以后各代则递减。田间白背飞虱迁入代的数量一般要高于褐飞虱,1997—2002 年褐飞虱迁入代平均百穴虫量为 2.9 头,白背飞虱则为

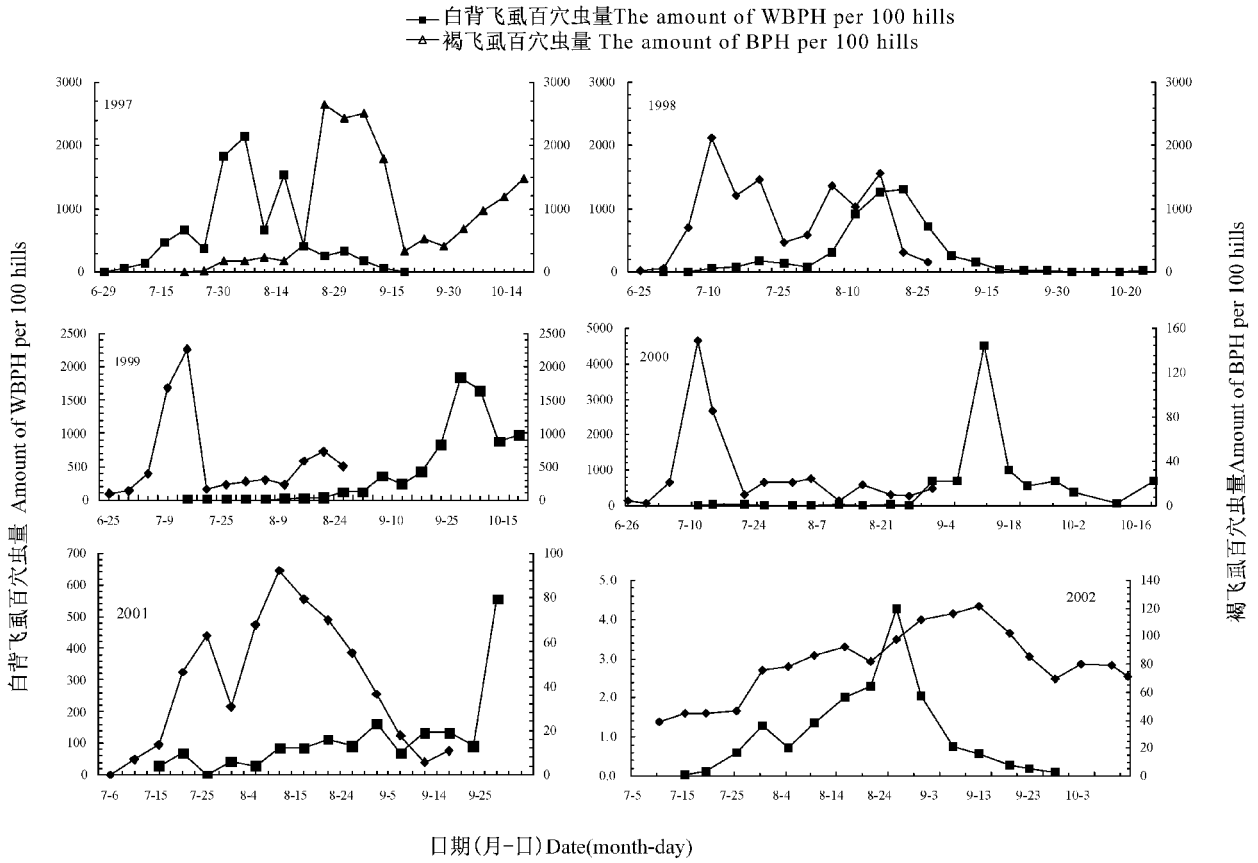

图 6 预测圃中 2 种稻飞虱种群数量变动

Fig. 6 The annual fluctuation of WBPH and BPH in a no-chemical-used paddy

47.9 头;第 1 代种群增长率也远高于褐飞虱,而其后各代间的增长倍数却低于褐飞虱。

3 结论与讨论

20 世纪 90 年代,白背飞虱取代褐飞虱成为水稻上的主要害虫,其迁飞特性也随着褐飞虱数量的极度降低而发生渐变,其长翅型成虫的比率大大降低;此前迁入种群繁殖一代就要迁出,每个世代都有 80% 左右的长翅型成虫并陆续迁出,但褐飞虱退出后,白背飞虱也像褐飞虱那样出现了滞留本地为害的增殖代和其后的主害代,直到 9 月中旬后才成为迁出代。

本研究揭示的白背飞虱对环境变化的响应说明了目标害虫超强的适应能力。杂交稻的大面积推广与吡虫啉的高强度应用为白背飞虱的迅速崛起提供了绝佳的资源和发展空间,并很快形成了新的迁飞特性。但有趣的是,2005 年褐飞虱对吡虫啉抗性的形成,使得它们在沉寂十年之后又卷土重来并造成连年暴发,褐飞虱数量发生大幅度转折并重登水稻害虫中的首恶之位。刁永刚等(2011)、杨帆(2011)等近期的工作表明,白背飞虱的迁飞特性又发生了变化:各代长翅型成虫比率都明显高于褐飞虱,低级别卵巢从迁入后的第 2 代开始就占有相当比例,而且在以后的各繁殖世代一直居高不下,这说明白背飞虱已不存在单纯的本地繁殖世代,迁入后各代成虫均存在一定的外迁比例,走的多,留的少,似乎又回到了 20 世纪 80 年代的情景。显然,褐飞虱种群数量的变化可能是 30 年里白背飞虱迁飞特性出现轮回的主要原因之一。因此,2 种飞虱共栖时的种间关系对彼此的种群消长有何作用还需要进一步的深入研究。此外,白背飞虱在营养条件还很好的水稻生育期持续外迁,其田间种群的去留比例和机制及对种群动态的影响值得进一步探索。

致谢: 苏州市植保站张国彪站长、吴中区植保站沈

龙源站长和张建明等同仁为本研究提供虫情数据和试验场地及各种方便,谨致谢忱!

参考文献(References)

陈钰瑛, 王茂涛, 1996. 褐稻虱种群增殖与温度的关系. 江苏农业科学, (4): 29—31.

程家安, 章连观, 范泉根, 祝增荣, 1991. 迁入种群对褐飞虱种群动态的影响. 中国水稻科学, 5(4): 163—168.

程遐年, 吴进才, 马飞, 2003. 褐飞虱研究与防治. 北京: 中国农业出版社. 95—140.

刁永刚, 张国, 杨海博, 瞿钰锋, 张孝羲, 翟保平, 2011. 白背飞虱的迁飞生物学: 安徽徽州个例分析. 应用昆虫学报, 48(5): 1222—1230.

赖仲廉, 1982. 贵阳地区白背飞虱的越冬及迁飞的观察. 昆虫学报, 25(4): 397—402.

全国白背飞虱科研协作组, 1981. 白背飞虱迁飞规律的初步研究. 中国农业科学, 14(5): 25—31.

汤金仪, 胡伯海, 王建强, 1996; 我国水稻迁飞性害虫猖獗成因及其治理对策建议. 生态学报, 16(2): 167—173.

唐启义, 胡国文, 唐健, 胡阳, 程家安, 1998. 白背飞虱猖獗频率增加与杂交稻面积增加的关系分析. 西南农业大学学报, 20 (5): 456—459.

王荣富, 程遐年, 罗跃进, 邹运鼎, 1997. 褐飞虱与白背飞虱共栖时的互作效应. 应用生态学报, 8 (4): 391—395.

王荣富, 邹运鼎, 程遐年, 1998. 褐飞虱与白背飞虱若虫间的互作效应. 应用生态学报, 9 (3): 277—280.

杨帆, 郑大兵, 赵运, 王丽, 徐杨洋, 齐国君, 徐劲峰, 吴彩玲, 张孝羲, 程遐年, 翟保平, 2011. 白背飞虱的迁飞生物学: 安徽潜山个例分析. 应用昆虫学报, 48(5): 1231—1241.

翟保平, 程家安, 2006. 2006 年水稻两迁害虫研讨会纪要. 昆虫知识, 43 (4): 585—588.

朱学威, 1985. 白背飞虱与褐稻虱的发生特点比较. 昆虫知识, 22(2): 51—53.