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）。

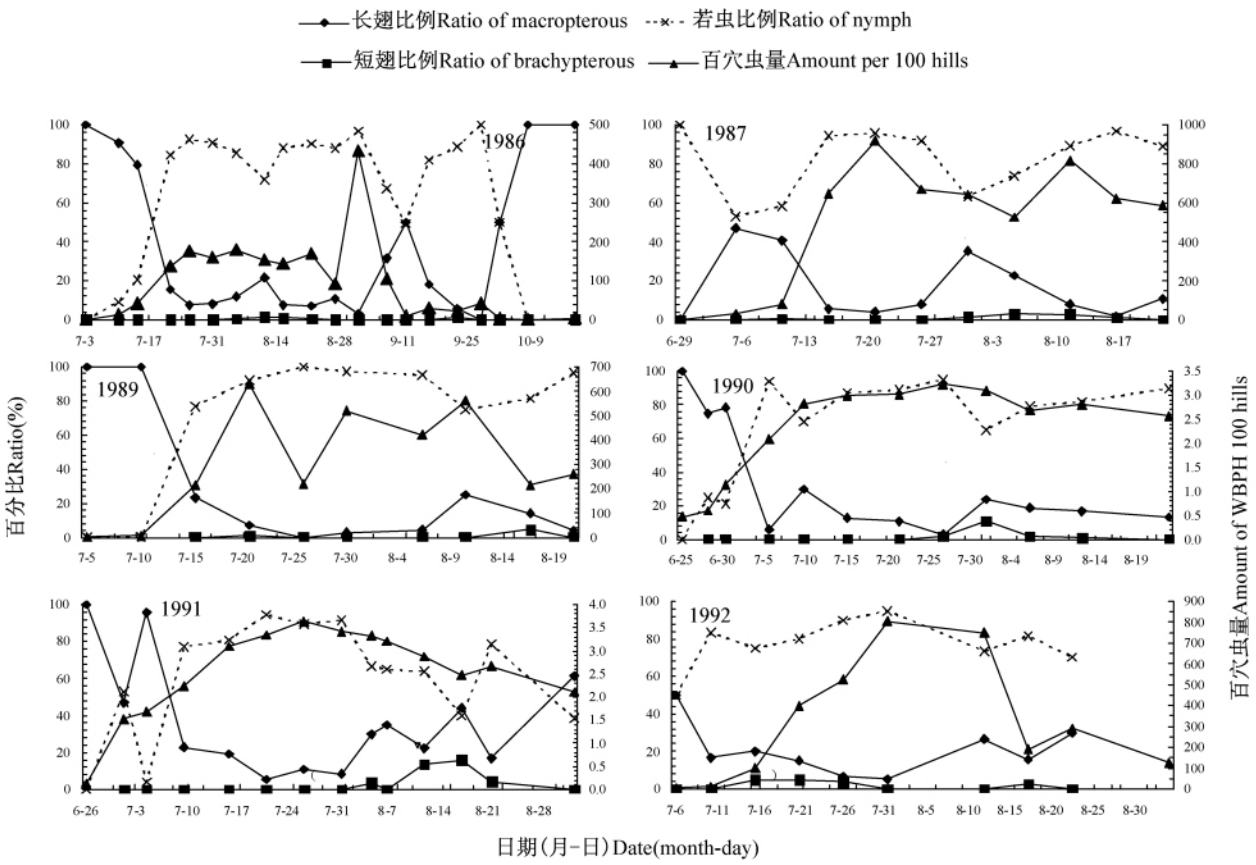

图 3a　田间预测圃历年虫量变动（1990、1991 两年的百穴虫量为对数值）

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

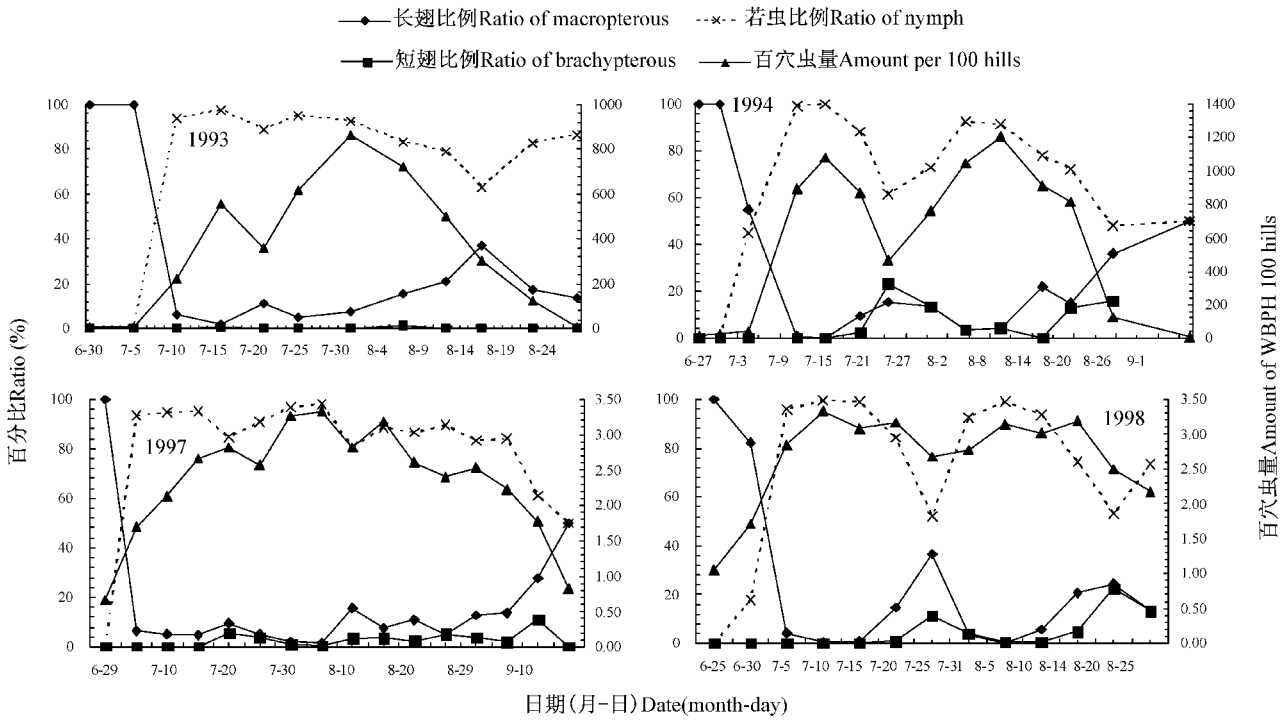

图 3b　田间预测圃历年虫量变动(1997、1998 2 **年的百穴虫量为对数值**)

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)

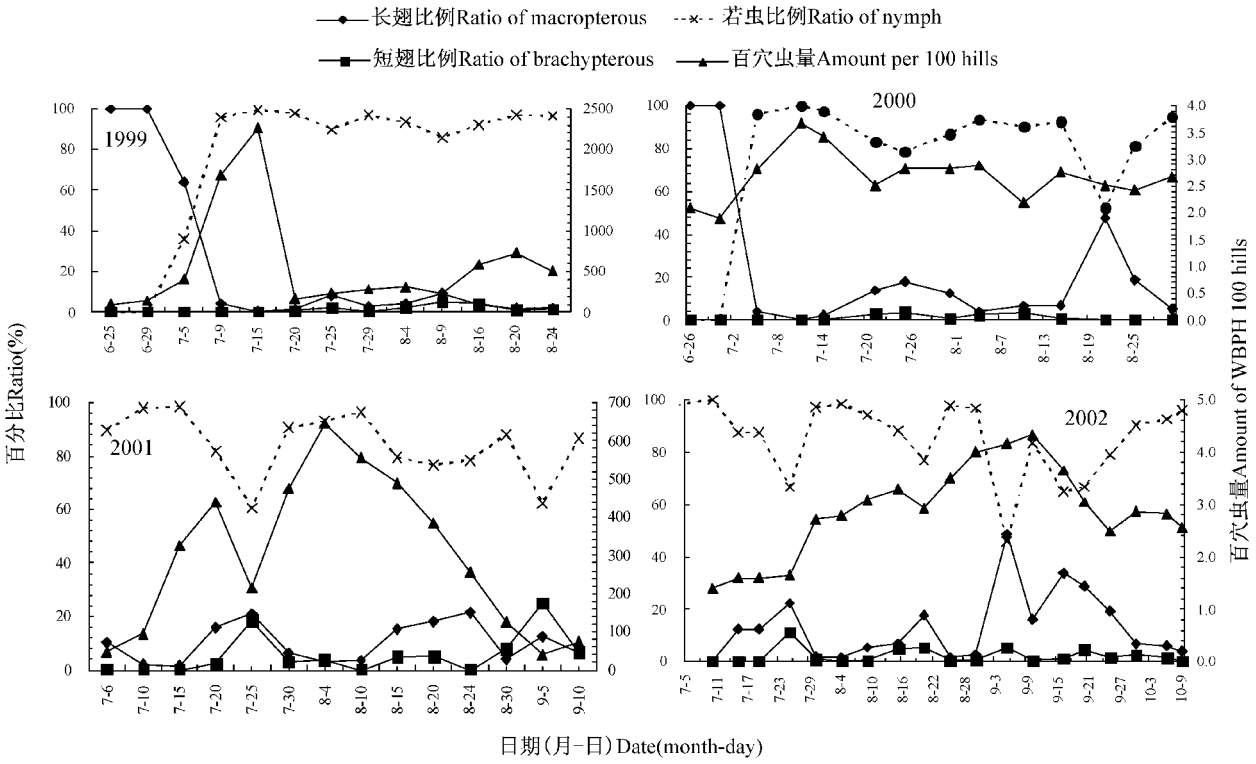

图 3c　田间预测圃历年虫量变动(2000、2002 2 **年的百穴虫量为对数值**)

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)

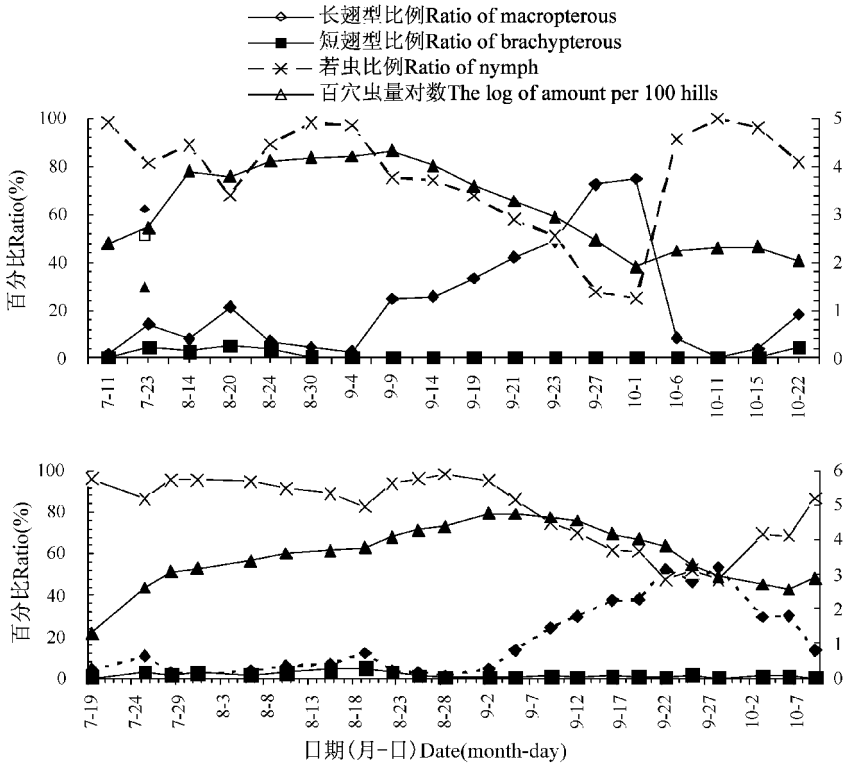

图 4 苏香粳上白背飞虱种群动态(上:2001 年,下:2002 年)

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

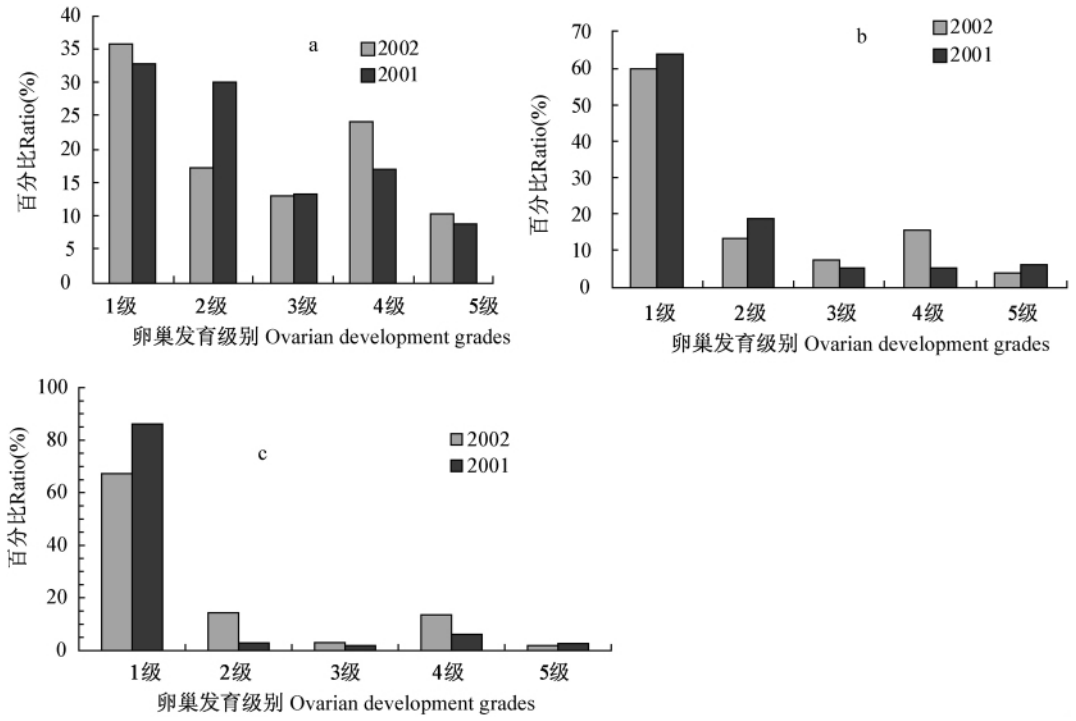

图 5 白背飞虱田间种群的卵巢解剖情况

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

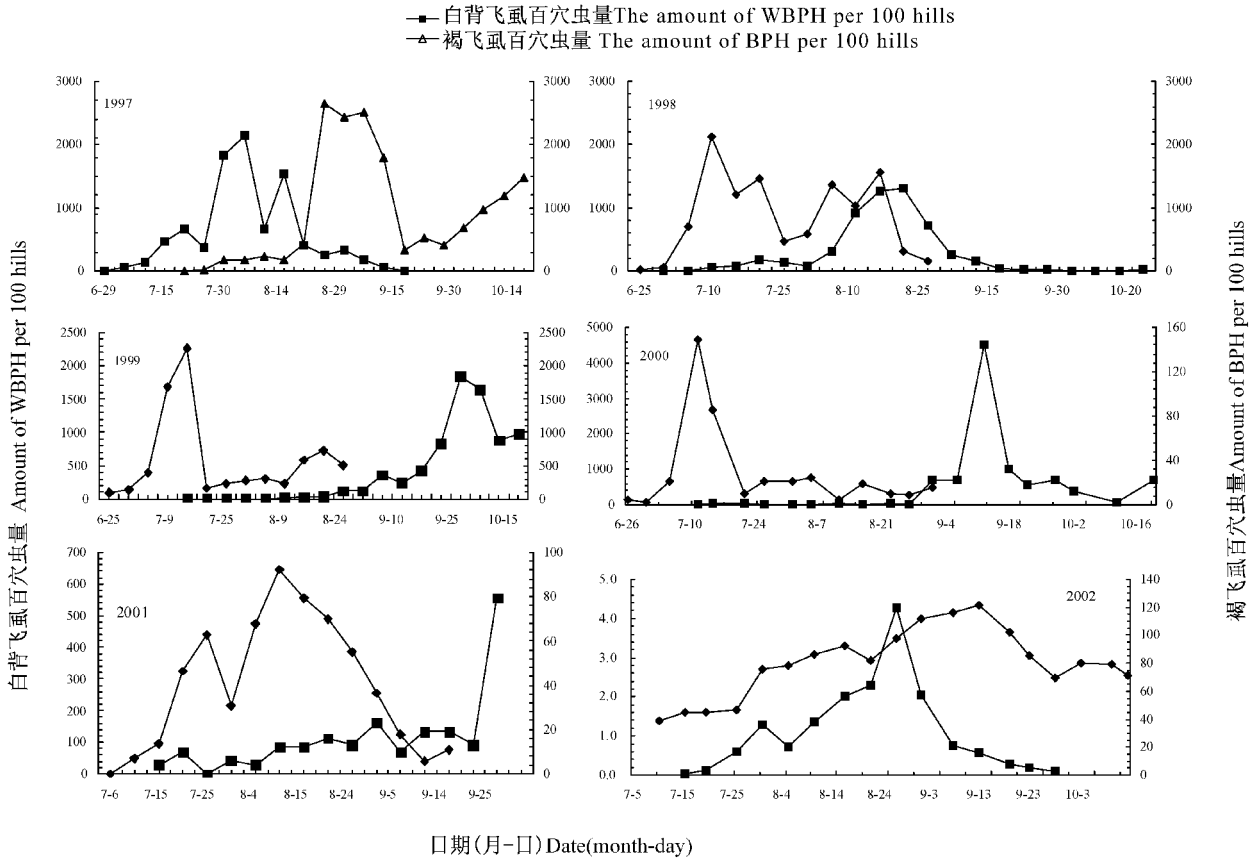

图 6 预测圃中 2 种稻飞虱种群数量变动

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.

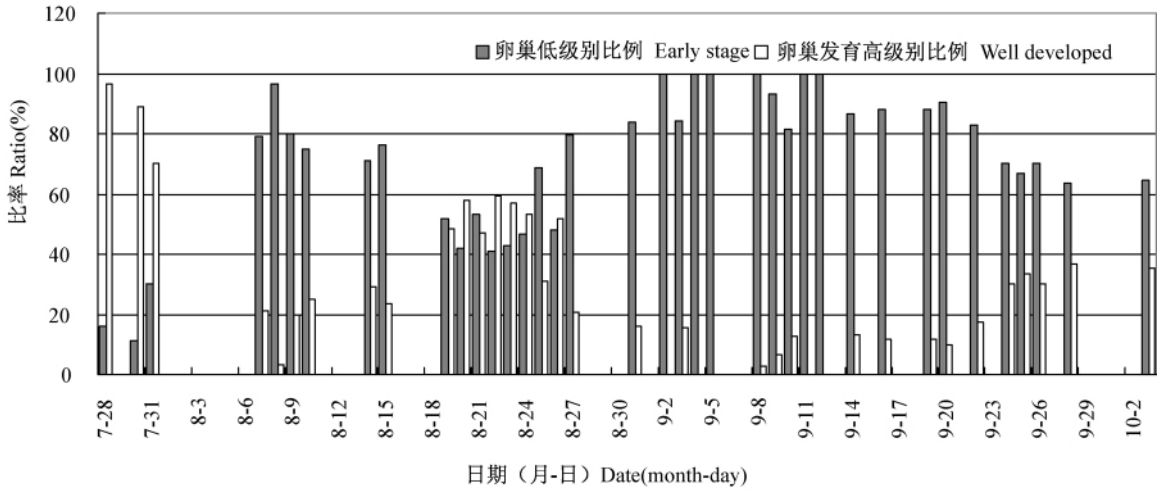

图 4　苏州吴中区 2002 年大田白背飞虱逐日卵巢解剖情况

Fig. 4　Daily ratio of the ovarian development grades of WBPH in Wuzhong, 2002

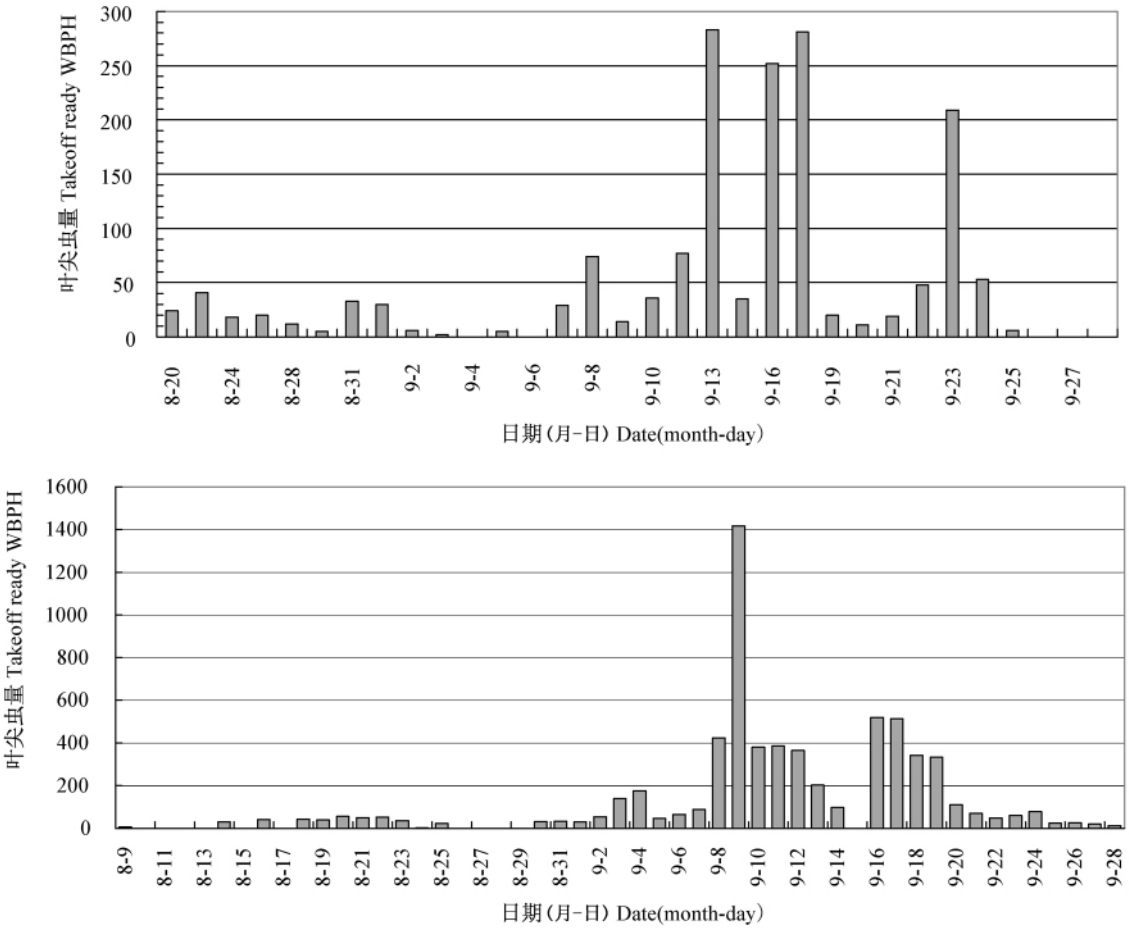

图 5　苏州吴中区 2011(上) 和 2002 年(下) 田间白背飞虱逐日待飞虫量

Fig. 5　The daily fluctuation of take-off ready WBPH in paddy fields, Wuzhon, Suzhou, 2001 (upper) and 2002 (below)

日未观察，8 月 15 日飞起的虫量增加到 301 头，之后几天的起飞虫量都比较多。迁出高峰在 8 月中下旬，此间每日的迁出比例在 80% 左右，9 月初这一代起飞基本结束。9 月 9 日接入的一批若虫，到 9 月中旬又出现了一个起飞峰。罩笼中的起飞峰要比大田中出现得早，可能的原因是罩笼中的虫量比大田要高。而在 9522 品种的罩笼中，由于是 9 月 2 日接入的若虫，起飞动态几乎同大田，高峰时段是在 9 月中上旬，而且每日的迁出比例也大约为 80%（图 6）。

2.3 白背飞虱的起飞行为和天气对起飞的影响

迁出的长翅型成虫一般于日落前半小时就从稻株基部逐渐向上爬至稻叶中上部静伏待飞，起飞时以后足蹬稻叶上飞。整个起飞过程一般在日落后 20 min 内完成，如果虫量大，可能持续到昏影终时之后 10 min。在昏影终时达到起飞高峰，之后起飞数量显著减少。一般来说，白背飞虱起飞的准备时间很短，起飞的效率比较高，爬到叶片中上部待飞的飞虱一般在 5 min 之内就会起飞，且在晴朗无风的天气起飞数量较大。风力是影响起飞的重要因素，风力三级左右，稻叶晃动。爬到叶尖的虫很少。有风时，几乎无虫向上爬，而且到叶片中上部的虫子也会突然起飞；有的正向上爬的虫子受到叶片的干扰就又退了回去。

表 1 起飞前后田间白背飞虱长翅型成虫数量变化

Table 1 Changes of the amount of macropterous WBPH before and after take off（Wuzhong，Suzhou）

年份 Year	日期（月－日）Date（month-day）	调查穴数 Hills	调查时间 Time	虫量 Macropterous of WBPH	调查时间 Time	虫量 Macropterous of WBPH	起飞比例（%）The ratio of take-off
2001	9－9	2	18:10	104	18:40	63	39.42
	9－10	2	18:00	140	18:30	71	49.29
	9－11	2	18:00	120	18:30	73	39.17
	9－13	3	18:00	89	18:30	64	28.09
	9－14	3	17:50	47	18:30	20	57.45
	9－16	3	17:50	56	18:30	30	46.43
	9－17	5	17:50	62	18:30	30	51.61
	9－18	5	17:50	66	18:30	30	54.55
	9－21	5	17:50	69	18:20	47	31.88
	9－25	5	17:40	20	18:20	9	55.00
	9－27	5	17:30	21	18:20	13	38.10
2002	8－16	5	18:20	30	19:10	14	53.33
	8－18	5	18:20	42	19:10	26	38.10
	8－20	5	18:20	63	19:10	28	55.56
	8－21	5	18:20	49	19:10	23	53.06
	8－23	5	18:20	36	19:10	22	38.89
	8－25	5	18:20	30	19:10	20	33.33
	8－30	5	18:20	49	19:10	36	26.53
	9－1	5	18:10	72	19:00	58	19.44
	9－2	4	18:10	105	19:00	73	30.48
	9－3	4	18:10	200	19:00	108	46.00
	9－5	2	18:00	152	18:50	86	43.42
	9－8	2	18:00	304	18:50	151	50.33
	9－9	2	17:40	433	19:00	168	61.20
	9－12	2	17:50	416	18:50	149	64.18
	9－16	6	17:30	336	18:30	119	64.58
	9－18	6	17:30	264	18:30	91	65.53

表 2　2002 年罩笼中白背飞虱卵巢解剖情况

Table 2　The ovarian development of WBPH in the cage (Wuzhong, Suzhou 2002)

解剖日期(月 - 日) Date (month-day)	Ⅰ级比率(%) Grade Ⅰ(%)	Ⅱ级比率(%) Grade Ⅱ(%)	高级别比率(%) Well devoloped ovary (%)
7 - 28	3.6	0	96.4
7 - 30	4.5	2.1	93.4
8 - 7	35	10	55.0
8 - 15	92.7	7.3	0
8 - 18	93.4	6.7	0
8 - 23	92.8	7.2	0
8 - 25	89.1	10.9	0
8 - 30	64.3	11.4	24.3
9 - 5	100	0	0

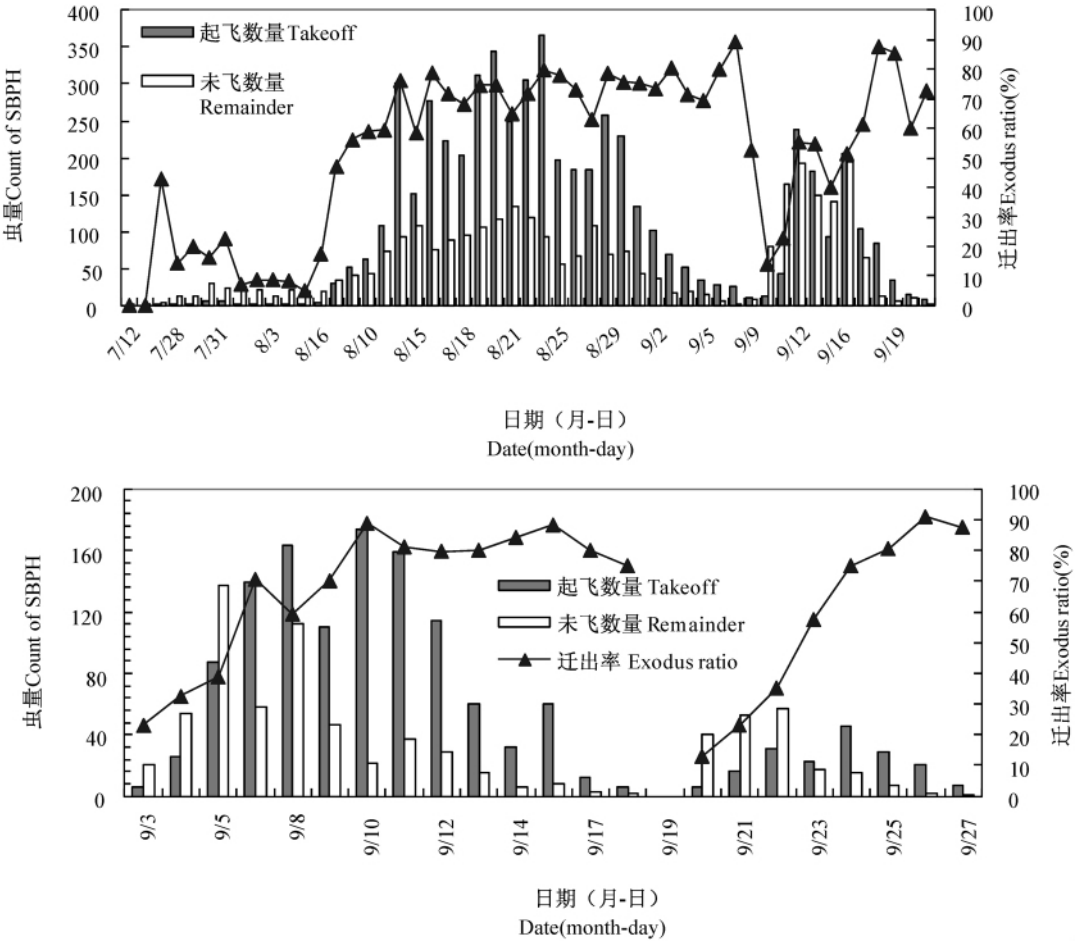

图 6　2002 年罩笼内白背飞虱逐日起飞虫量及迁出比例(上:苏香粳;下:9522)

Fig. 6　The daily take-off of WBPH and exodus rate in cages(Wuzhong,2002)

在苏香粳(上)罩笼内分别于 7 月 25 日和 29 日、8 月 7 日、9 月 9 日接入 4 批高龄若虫在 9522(下)罩笼内分别于 9 月 2 日、19 日和 20 日接入 3 批高龄若虫,并自 9 月 19 日起每次观测完毕都把笼内所以成虫吸出来,这样第 2 天起飞者必是新羽化的 1 日龄成虫。

Upper: Suxiangjing, recruit nymphs were added on 25 July, 29 July, 7 Aug. and 9 Sep.;

Below: 9522, recruit nymphs were added on 2 Sep., 19 Sep. and 20 Sep. All of the adults were removed each day since 19 Sep. to observe whether the newly emerged adults take off or not.

田间观察发现，白背飞虱的起飞还受降雨和温度的影响。降水能够抑制成虫的起飞，如 2002 年 8 月 24 日、27 日和 9 月 7 日下午大雨，到日落时很少有虫起飞；8 月 26 日傍晚 17:00 左右下起了雨，当日无虫起飞；9 月 14 日全天小雨，但是到 17:00 左右雨停后去田间观察，17:30 还有虫起飞；一直到 18:20 又下雨时，一些未及起飞的个体又退了回去。一般来说，飞虱没有冒雨起飞的，虽然此时田间虫量也比较大。在 9 月下旬，温度对飞虱起飞也有影响，起飞的时间一般都要提前，到 9 月底，有时在日落前 30 min 就开始起飞，但起飞结束的时间不一定提前（图 2，3）。

2.4 轨迹分析

为分析方便，将最终迹点所至分布范围划为 8 个区：1. 两广；2. 湘赣；3. 浙南和福建；4. 江淮稻区（安徽和江苏中北部地区）；5. 长三角稻区（包括苏南、浙北和上海）；6. 黄海和东海海域及韩国、日本；7. 我国东南海域；8. 华中地区。

在不考虑风向和风速以外的其它天气条件下，从表 3 和表 4 中可以看出，在 1 500 m 高度上，8 月份外迁虫源的 12 h 轨迹终点 80% 到达江淮稻区。而 24 h 轨迹终点中的 37% 到达江淮稻区，40% 迁往我国东部海域，甚至直达韩国日本。9 月份的轨迹分布则比较松散，12 h 轨迹的终点可到达各个区域，但 24 h 的轨迹则主要是迁往南方稻区。大约有 40% 的要回迁到湘赣等地，26% 会到达闽浙等地，很小一部分能继续北上到达江淮稻区。

在 8 月份迁出期间，大约有 40% 左右的轨迹到达黄海和东海海域，这部分轨迹如果延长到 36 h，其中的很大一部分可以到达日本和朝鲜半岛。1998 年 8 月 10 日、1999 年 8 月 18 日和 2000 年 8 月 30 日因有强西南低空急流出现，24 h 顺推就到了韩国和日本。

表 3 吴中区 12 h 迁出轨迹分析的终点分布比例

Table 3 The distribution of the endpoints of 12 h trajectory of WBPH in Wuzhong

高度 Altitude (m)	时段 Time	2	3	4	5	6	分析轨迹数 Number of trajectories
1500	8 月	0	0	80.70	5.26	14.04	57
	9 月	27.59	20.69	24.14	27.59	0	58
1000	8 月	76.92	0	0	0	23.08	52
	9 月	34.78	13.04	30.43	21.74	0	46

表 4 吴中区 24 h 迁出轨迹终点的分布比例

Table 4 The distribution of the endpoints of 24 h trajectory of WBPH in Wuzhong

高度 Altitude (m)	时段 Time	1	2	3	4	5	6	7	8	分析轨迹数 Number of trajectories
1 500	8 月	0	6.73	0	37.50	12.50	39.42	3.85	0	104
	9 月	3.51	40.35	26.32	10.53	8.77	8.77	1.75	3.51	58
1 000	8 月	0	9.62	0	42.31	7.69	36.54	3.85	0	104
	9 月	0	42.86	14.29	25.00	7.14	0	10.71	0	56
500	8 月	0	11.54	0	53.85	5.77	28.85	0	0	104
	9 月	0	50.88	17.54	17.54	1.75	0	12.28	0	57

3 结论与讨论

田间观察表明（图 2，4，5），2001 年和 2002 年苏州田间白背飞虱长翅型成虫到 9 月份才出现高峰（图 1），此期也正是白背飞虱大量外迁的时期。而罩笼中的迁飞时段在 8 月份（图 6），这可能是由于罩笼中 8 月份的高密度虫量使得水稻营养恶化而引起 9 月份虫量骤减。虽然有报道，褐飞虱和白背飞虱混养的种群中，无论种内还是种间，成若虫密度对 2 种飞虱均存在密度制约效应，但褐飞

虱比白背飞虱更耐拥挤,以至最后完全排斥白背飞虱(王荣富等,1997,1998)。但田间褐飞虱的种群数量在 8 月上中旬远未达到可以排挤白背飞虱的程度,白背飞虱却仍要迁出。赖仲廉(1982)曾观察到罩笼中的白背飞虱到死也不滞留产卵,且白背飞虱的迁出量与虫口密度呈正相关,故白背飞虱的迁出行为乃其生理学和生态学的综合反应。在以往的年份,白背飞虱到 8 月下旬就已不构成危害(朱学威,1985)。但 20 世纪 90 年代中期之后,白背飞虱在 8 月份的迁出量很低,与 20 世纪 80 年代的发生规律有了很大的不同。相应于褐飞虱种群数量的急剧下降,白背飞虱在迁入地大量滞留形成增殖代和主害代而使其危害时间大大延长,并迅速上升为水稻的头号害虫。究竟什么内外因素促成了白背飞虱种群特征和迁飞行为的这种变化?

罩笼试验中,起飞的高峰日段每日起飞的比例都在 80% 左右,但是田间观察的数量远小于此,高峰时段的起飞比例仅在 50% ~65% 之间。田间观察还发现,虽然 8 月份的起飞数量较少,但每日起飞的比例大约也在 50% 左右。罩笼与田间情况不一致,可能是由于罩笼中虫量太大使营养状况恶化而刺激白背飞虱大量起飞。罩笼试验中发现,在苏香粳上和 9522 上接入若虫几天以后,飞虱起飞的数量要高于当天留下来未飞的数量(图 6)。如果白背飞虱只是像褐飞虱一样,在 2 日龄才开始起飞的话(程遐年等,1979; 陈若篪等,1979; 陈若篪和程遐年,1980),似乎不应该出现这样的现象。因此有可能在当日羽化的飞虱中,有一部分可能也是要起飞的。于是,把每天羽化的飞虱全部都吸出来,罩笼中不留飞虱成虫,如果每天有起飞的个体,那就是 1 日龄的。结果表明,1 日龄的飞虱确实也有起飞的(表 6 中 9 月下旬那段)。白背飞虱的羽化时间一般都在早晨 9:00 左右,而下午起飞一般也在 17:00 左右(刘芹轩等,1982),经过几个小时的取食时间,一些个体应该具有一定的迁飞能力。飞行能力测试结果表明,虽然 1 日龄个体的飞行能力弱一些,迁飞比例也比较低(汪远昆等,2004),但 1 日龄个体的确具有迁飞的潜能。1 日龄起飞的飞虱由于飞行力不强,也就增加了其再飞行的可能性。

环境因素对起飞影响较大。赖仲廉(1982)在贵州对白背飞虱的迁飞观察时发现,迁出量与温度高低、光照强弱相关。在晴朗无风或微风的天气,白背飞虱起飞的数量较大,但 2 级或 3 级的风力即可影响飞虱爬到叶片上部起飞。阴雨天飞虱起飞虫量少,虽有些个体能在无雨的间隙起飞,但只要开始降雨,即使雨量很小,待飞个体也会立即返回到水稻基部。邓望喜(1981)用飞机航捕观测表明,白背飞虱可以在雨中不降低飞行高度而继续迁飞,这说明一般的降雨可能只影响白背飞虱的起飞行为,而不影响已经飞行的个体。9 月中旬后温度逐渐降低,起飞开始时间提前,但仍要持续到昏影终时,只有在虫量较少时才会提前结束(图 2,4)。

Sogawa(1992)发现,日本稻飞虱 7 月份的迁入种群的 36 h 回推轨迹也可以到达我国的江南稻区。本研究结果表明,苏州田间 8 月份迁出的白背飞虱一般可以继续北迁到达江淮稻区,而 8 月下旬的低空急流仍可将江南稻区的稻飞虱跨海运达韩国和日本。Rosenberg 和 Magor(1987)在对东海海面航捕的褐飞虱资料进行轨迹分析时,以 8 ~ 30 h 作为时间参数,但在 1 500 m 高度,有时 24 h 即可到达韩国或日本。这表明在 8 月下旬,只要存在可持续 24 h 的低空急流,越海迁飞的飞虱即可到达这些区域。而且,稻飞虱在夏季的实际飞行高度往往在 1 500 m 以上,其飞行上限约为 2 300 m左右(封传红等,2002),因此稻飞虱的实际飞行时间可能比想象中的要少。

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)

陈若篪,程遐年,杨联民,殷向东,1979. 稻飞虱卵巢发育及其与迁飞的关系. 昆虫学报,22(3):280—288.

陈若篪,程遐年,1980. 褐飞虱起飞行为与自身生物学节律、环境因素同步关系的初步研究. 南京农学院学报,3(2):42—49.

程遐年,陈若篪,习学,杨联民,朱子龙,吴进才,钱仁贵,杨金生,1979. 稻褐飞虱迁飞规律的研究. 昆虫学报,22(1):1—21.

邓望喜,1981. 褐飞虱及白背飞虱空中迁飞规律的研究. 植物保护学报,8(2):73—81.

封传红,翟保平,张孝羲,汤金仪,2002. 我国北方稻区

1991 年稻飞虱大发生虫源的形成. 生态学报，22(8)：1302—1314.

胡国文，谢明霞，汪毓才，1988. 对我国白背飞虱的区划意见. 昆虫学报，31(1)：42—49.

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.

刘芹轩，吕万明，张桂芬，1982. 白背飞虱的生物学和生态学研究. 中国农业科学，15(3)：59—66.

吕万明，1980. 白背飞虱雌性生殖系统的构造和卵巢发育分级的初步观察. 昆虫知识，17(4)：182—183.

Riley JR，Cheng XN，Zhang XX，Reynolds DR，Xu GM，Smith AD，Cheng JY，Bao AD，Zhai BP，1991. The long-distance migration of *Nilaparvata lugens* (Stål) in China: radar observation on the mass return flight in autumn. *Ecoogical Entomology*，16(4)：471—489.

Riley JR，Reynold DR，Smith AD，Rosenberg LJ，Cheng XN，Zhang XX，Xu GM，Cheng JY，Bao AD，Zhai BP，Wang HK，1994. Observation on the autumn migration of *Nilaparvata lugens* (Homptera: Delphacidae) and other pest in east central China. *Bulletin of Entomological Research*，84(3)：389—402.

Rosenberg LJ，Magor JI，1987. Prediction wind borne displacements of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* from synoptic weather data. I. Long distance displacements in the northeast monsoon. *Journal of Animal Ecology*，56(1)：39—51.

Sogawa K，1997. Overseas immigration of rice planthoppers into Japan and associated meteorological systems//Proceedings of China-Japan Joint Workshop: Migration and Management of Insect Pests of Rice in Monsoon Asia，Hangzhou，CNRRI. 13—34.

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.

汪远昆，翟保平，张孝羲，2004. 白背飞虱的再迁飞能力. 昆虫学报，47(4)：467—473.

翟保平，2004. 昆虫行为研究中日长的计算. 昆虫知识，41(2)：178—184.

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.

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)。

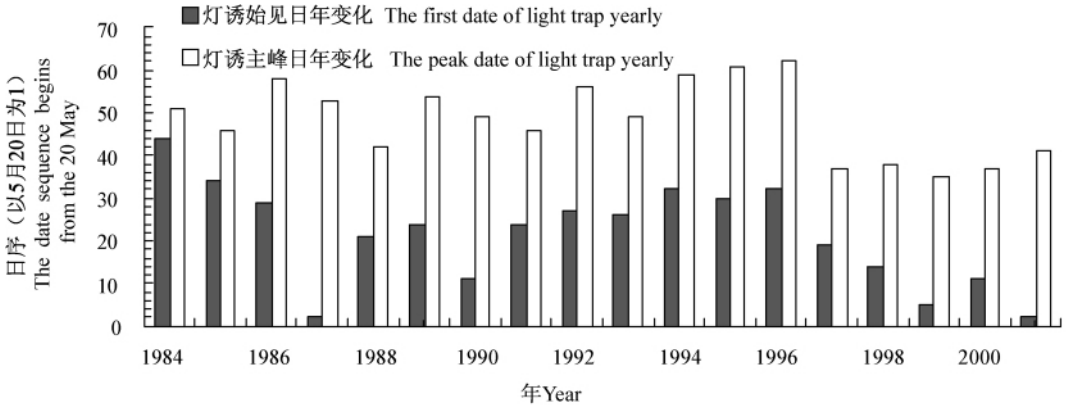

图 1　吴中区历年白背飞虱灯诱始见期和高峰日的年变化(以 5 月 20 日为 1)

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

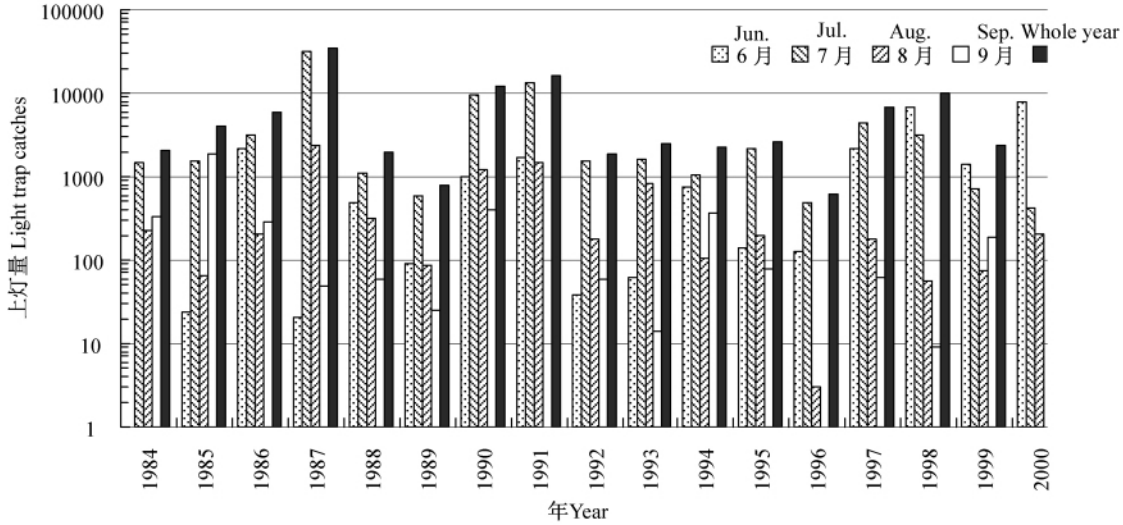

图 2　苏州吴中区灯诱虫量的年度间变化

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。