白背飞虱的迁飞生物学:起飞与迁出*

罗 举** 汪远昆 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 2001—2002 年在苏州吴中区 2 个生长季节的田间观察和罩笼试验表明,白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth) 7 月上旬以前迁入苏州,并在当地繁殖 2 代。从 8 月中下旬开始陆续有少量向外迁飞,9 月份大田出现外迁高峰。田间白背飞虱起飞比率约为 50% ~65%,迁出峰期的每日迁出率约为 80%。8 月下旬白背飞虱一般已不构成危害。但 20 世纪 90 年代中期之后,白背飞虱 8 月份很少迁出而在迁入地大量滞留形成增殖代和主害代,危害时间大大延长,这与 20 世纪 80 年代的发生规律有了很大的不同。轨迹分析表明,8 月中下旬从苏州迁出的个体中,40% 可以到达江淮稻区,另有大约 40% 进入黄海和东海海域,若有强西南低空急流出现时则可跨海到达韩国和日本。9 月份则主要是迁往我国的南方稻区,但很少可以直达岭南地区。

关键词 白背飞虱,起飞行为,罩笼试验,轨迹分析

Migratory biology of the white backed planthopper: Take-off and emigration

LUO Ju** WANG Yuan-Kun 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 aerial migration of the white-backed planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth) (WBPH) was studied in the field and captivity in Suzhou in 2001 and 2002. The results indicate that WBPH immigrate into Suzhou in early July, and produce two generation in this area. A few adults were beginning to emigrate from the end of August but the peak of emigration occurred in mid September when the mass flight could be seen at dusk. When the population density was high, the mass flight of insects continued until 10 minutes after twilight. The daily emigration ratio was about 80% during the emigration peak in captive populations, but about 50% to 65% in paddy fields. We found that the emigration behaviour of WBPH has changed since the mid 1990's. The offspring of immigrants would mostly emigrate when the macropterous adults emerged in 1980's, but now very few hoppers depart in August which greatly prolongs the duration of damage to rice crops. Emigration trajectory analysis at altitudes of 500, 1 000 and 1 500 m indicates that in mid or late August about 40% of the migrating planthoppers from Suzhou arrive at the Yangtse and Huai River basin and the other 49% emigrate to the Yellow and East Seas, even crossing the sea to South Korea or Japan in a strong southerly low level jet-stream. In September, these planthoppers return to rice planting areas south of the Yangtse and north of Nanling.

Key words *Sogatella furcifera*, takeoff behavior, caged observation, trajectory analysis

20 世纪 90 年代,由于水稻种植品种的变化,白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth) (WBPH) 逐渐取代褐飞虱成为水稻的重要害虫,其成灾频率明显上升。以往的研究已经表明,我国白背飞虱每年春季随西南气流从南方稻区北迁,秋季又随东北气流回迁南方稻区越冬(胡国文等,1988),并且其迁飞过程与低空急流的时空动态相关(封传红等,2002)。赖仲廉(1982)发现,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;而且通过罩笼试验认为,白背飞虱长

* 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: luojuinsect@yahoo.com.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

翅型成虫的迁出不完全受水稻生育期的限制,其迁出行为是其生理生态学的综合反应。朱学威(1985)也发现田间各代白背飞虱的长翅型比例比较高。在江淮稻区,白背飞虱是在6月下旬到7月中旬之间陆续迁入的,在当地可发生2代。一般而言,江淮稻区的白背飞虱在8月上旬就开始陆续迁出,8月中旬后有大量迁出。一般年份,由于后期褐飞虱数量的上升,白背飞虱的数量很少而几乎不造成危害;但在大发生的年份,有时也可能与褐飞虱混发成灾,如1987年和1991年(汤金仪等,1996)。但1991年稻飞虱特大发生之后,包括中南半岛虫源区在内的广大稻区中,水稻栽培品种都发生了较大的变化,尤其是杂交稻的大面积推广,使得褐飞虱的发生量越来越轻,白背飞虱则逐渐成了主要危害种(唐启义等,1998),其发生规律也有所变化,迁入种群繁殖一代后往往滞留当地使发生代数增加、危害加重,给水稻生产带来新的威胁。

要进一步认识白背飞虱迁飞规律的演化,首先需要明确白背飞虱的起飞行为,即田间白背飞虱种群是否迁出、何时迁出,还有必要了解白背飞虱各代田间种群的来龙去脉和走留情况。为此,作者在苏州市吴中区设点开展罩笼试验和田间观察,已明确白背飞虱对稻田生态系统结构演化的生态响应和迁飞特性的变化,并通过迁飞轨迹的数值模拟来分析本地种群起飞后的可能去向,以期为白背飞虱的预测预报和综合治理提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　大田起飞观测

稻飞虱成虫的起飞有明显的日节律,呈现弱光双峰型,即日出前和日落后的朦影时分起飞,其中又以日落后起飞较多(陈若篪等,1979; Riley *et al.*,1991,1994)。因此主要以黄昏作为起飞观察的时间。

2001由于田间虫量比较少,前期未能观察到有虫起飞,直到8月20日才开始在品种圃苏香粳上观察起飞动态。2002年7月下旬开始,在吴中区植保站预测圃田边(水稻品种为苏香粳,后期加上另一个品种9522)选定一个固定位置,每天从日落前20 min开始,每10 min记录1次每4穴水稻所有中上部叶片上的待飞白背飞虱的数量。观察直至昏影终时后的10 min为止。

日没时刻与昏影时刻的计算参照翟保平(2004)的算法。

1.2　罩笼起飞观测

2002年7月在稻田旁边空地上搭建2个2 m×2 m×2 m规格的40目的尼龙罩笼,里面用6个塑料桶种上6穴生育期与大田一致的水稻。水稻品种分别是苏香粳和9522。然后向里面接入从大田捕获的若虫(在7月末也接入田间长翅成虫)。每天在日落前10 min就进入罩笼,待开始起飞后,将从水稻上起飞落在罩笼壁上的飞虱用吸虫管全部吸出,之后再将没有起飞的虫子计数。

1.3　大田系统调查与卵巢系统解剖

起飞观察是在品种圃内进行的。品种是苏香粳,都不进行药剂防治。用盘拍法每5 d调查一次田间虫量的变化。每次调查20穴,将白背飞虱各虫态分别计数,再换算成百穴虫量。

每次调查从大田和罩笼中分别采集雌成虫20头以上(虫少时10头以上),在解剖镜下解剖观察其卵巢发育情况。其卵巢发育级别分类参照吕万明(1980)的标准。

1.4　迁飞轨迹分析

一般而言,稻飞虱的空中运行高度为500～2 000 m(邓望喜,1981),采用美国国家大气海洋局(NOAA)开发的大气质点轨迹分析平台HYSPLIT(http://www.arl.noaa.gov)分析白背飞虱的迁飞轨迹。轨迹分析初始参数的确定如下:

1)起飞时间19:00(北京时间,下同),由田间观测起飞日作为分析日。

2)迁入迁出地点以相关区域的地理坐标表示。

3)轨迹分析时间长度,取12和24 h 2个时段,在某些情况下作适当延长(36 h)。

4)飞行高度:采用3种水平高度,即500、1 000和1 500 m的高度来计算飞行轨迹。

2　结果与分析

2.1　大田起飞观察

2.1.1　2001年的观察　田间调查表明,苏香粳上的虫量高峰出现在9月份,直到10月份田间都一直可以查到白背飞虱,表明白背飞虱在田间存在着滞留的现象。长翅型比例7、8月份极低,高峰出现在9月份。这也表明,田间起飞的时间应该

在 9 月份(图 1)。

2001 年大田虫量不多,起飞个体的数量也较少(图 2)。观察时间从 8 月中旬开始的。8 月 20 日始见有虫起飞,但数量一直不大。直到 9 月份才有比较多的成虫起飞。并且田间虫量从 9 月 4 日起,长翅型比例也逐渐上升,到 9 月底达到最大值(图 1),但由于田间数量急剧下降,实际起飞的数量也较低,这与起飞观察的情况一致(图 2)。

可以看出,在 8 月份下旬田间长翅型比例比较低,虽然起飞数量不多,也有一个起飞峰。8 月 29 日、8 月 31 日、9 月 1 日傍晚都有小雨,从 9 月 4—6 日未见有虫起飞。9 月 9 日长翅比例开始增加(图 1),起飞数量也随之增加,起飞的峰出现在 9 月中旬,之后数量就很少了(图 2)。

2.1.2 2002 年的观察 2002 年苏香粳上观察是从 7 月 26 日开始的。早期田间虫量少,一直未见有虫迁出,直到 8 月 9 日 18:30 和 18:40 才第 1 次看到分别 2 头和 1 头起飞个体飞离。此后由于连续 4 天下雨,到 8 月 14 日开始在田间又看到零星起飞,此后才有比较系统的起飞(图 3)。而卵巢解剖结果表明,在起飞的高峰时段,卵巢发育为低级别的比例较高(图 4)。

从图 3 中可以看出,每天各时段待飞个体的数量变化较大,而高峰时段在日落后 10 min 左右。

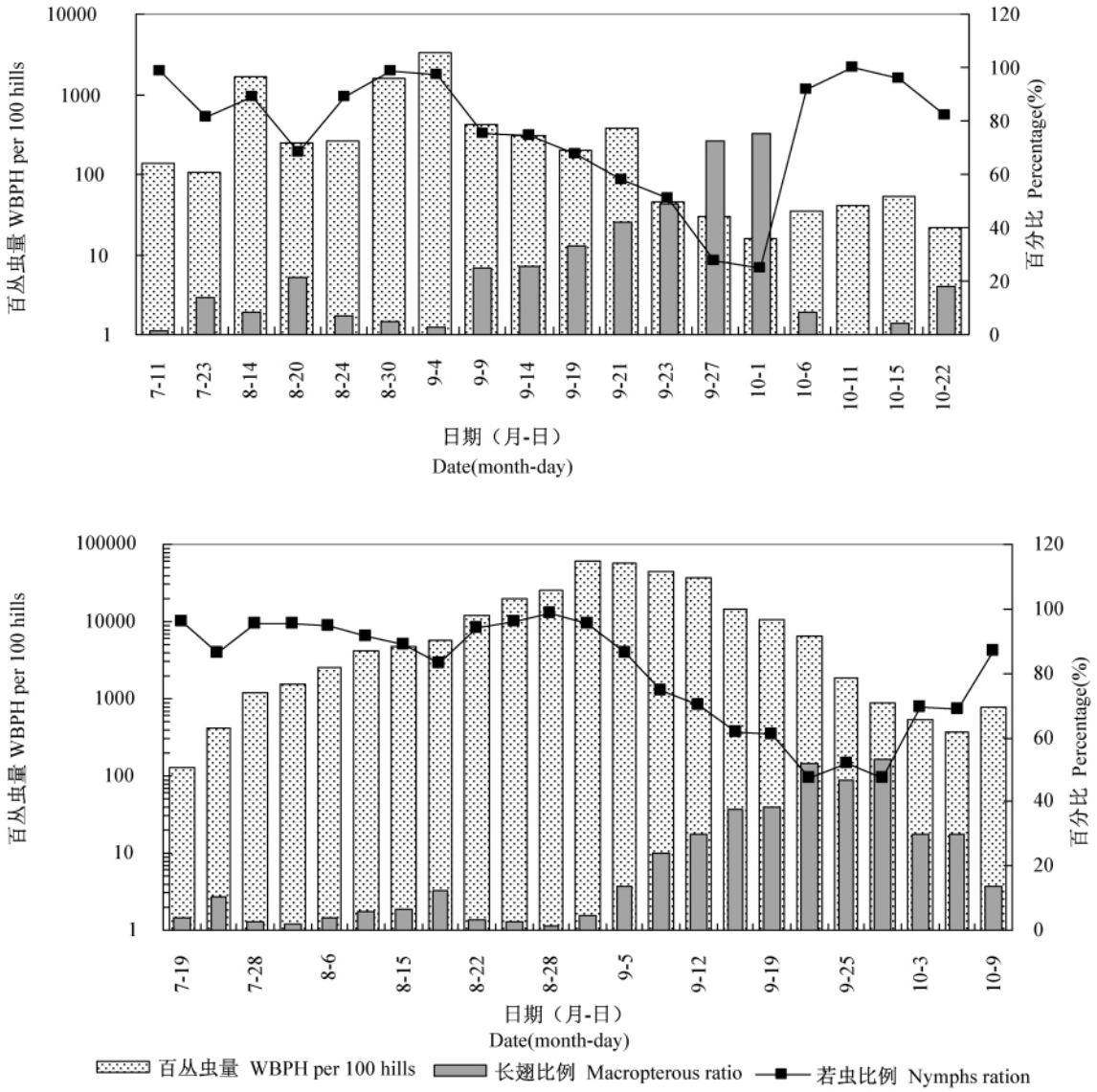

图 1 苏香粳上白背飞虱种群动态(上:2001 年,下:2002 年)

Fig. 1 The fluctuation of WBPH in paddy fields (Wuzhong, Suzhou. upper: 2001; below: 2002)

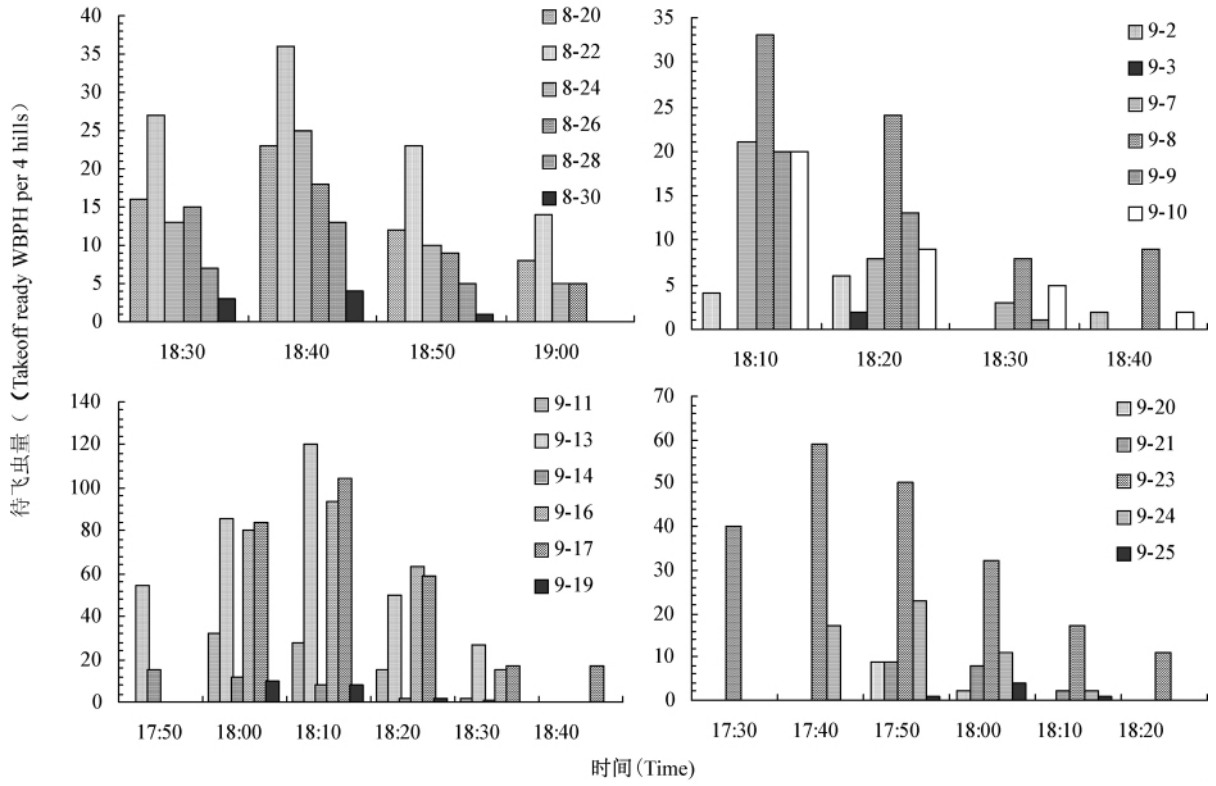

图 2　白背飞虱起飞观察: 苏香粳上叶尖虫量的变化(苏州, 吴中, 2001)

Fig. 2　The fluctuation of the takeoff ready WBPH on the top of rice plants (Wuzhong, Suzhou 2001)

8 月份苏香粳上的迁出数量不多, 高峰期集中在 8 月 20—23 日。8 月 26 日 16: 00 左右突下阵雨, 到 17: 50 左右结束, 这天无虫待飞。27—29 日傍晚也有零星的降雨, 这几天基本也无虫子起飞。这段时间卵巢发育为高级别的也比较多(图 4) , 田间长翅比例也比前一段时间要少, 因此要飞的虫子的数量较以前减少。

9 月份是苏香粳上白背飞虱大量迁出的时期, 起飞的高峰一直持续到 9 月下旬。从 9 月 2 日开始, 田间长翅比例持续上升。从 9 月 8 日开始, 每天都观察到叶片上有大量成虫准备起飞, 而且每天的迁出数量都较大。9 月 9 日迁出量特别多(4 穴稻丛上部叶片上共有 1 417 头飞虱) , 日没时刻 18: 12, 从 17: 40 开始叶片上就挤满了大量的飞虱, 到 18: 00 开始起飞, 直到昏影终时后 10 min 内还陆续有部分虫子起飞。9 月 9 日之后, 每天起飞时间都相应提前, 同 8 月份相比, 起飞的时间延长了。9 月下旬虫量变少, 起飞结束的时间提前。到 9 月 25 日之后, 田间白背飞虱数量锐减, 每日起飞的数量也降低到极低水平(图 3) 。

起飞前后分别调查田间长翅虫量, 表明起飞后每穴数量有明显下降, 这部分减少的虫量可视为每日起飞的数量。从表 1 可以看出, 2001 年每日的起飞比例都在 50% 左右, 而 2002 年 9 月份每日的起飞比例在 60% 以上。

综合 2 年的起飞观察, 8 月份起飞虫量较少, 9 月份是大田迁出的高峰(图 5) 。此时水稻处于抽穗孕穗期, 而且长翅型的比例显著增加, 所以有大量的成虫起飞。卵巢解剖的结果表明, 此时低级别的个体占较大比重。

2.2　田间罩笼中的起飞观察

分别在 7 月 25 日、7 月 29 日、8 月 7 日和 9 月 9 日下午分别向苏香粳罩笼接入一批高龄若虫。如图 6 所示, 8 月 9 日以前罩笼中起飞的数量很少, 但从起飞比率(<30%) 来看, 确有一些飞虱起飞。卵巢解剖结果表明, 8 月 7 日前, 罩笼中起飞的飞虱的卵巢发育状况基本上处于高级别, 故这些飞行可能是为觅食或产卵而不是迁飞行为。8 月份上中旬的解剖结果则多为低级别的(表 2) 。从 8 月 9 日开始, 起飞数量逐渐增加。8 月 11—14

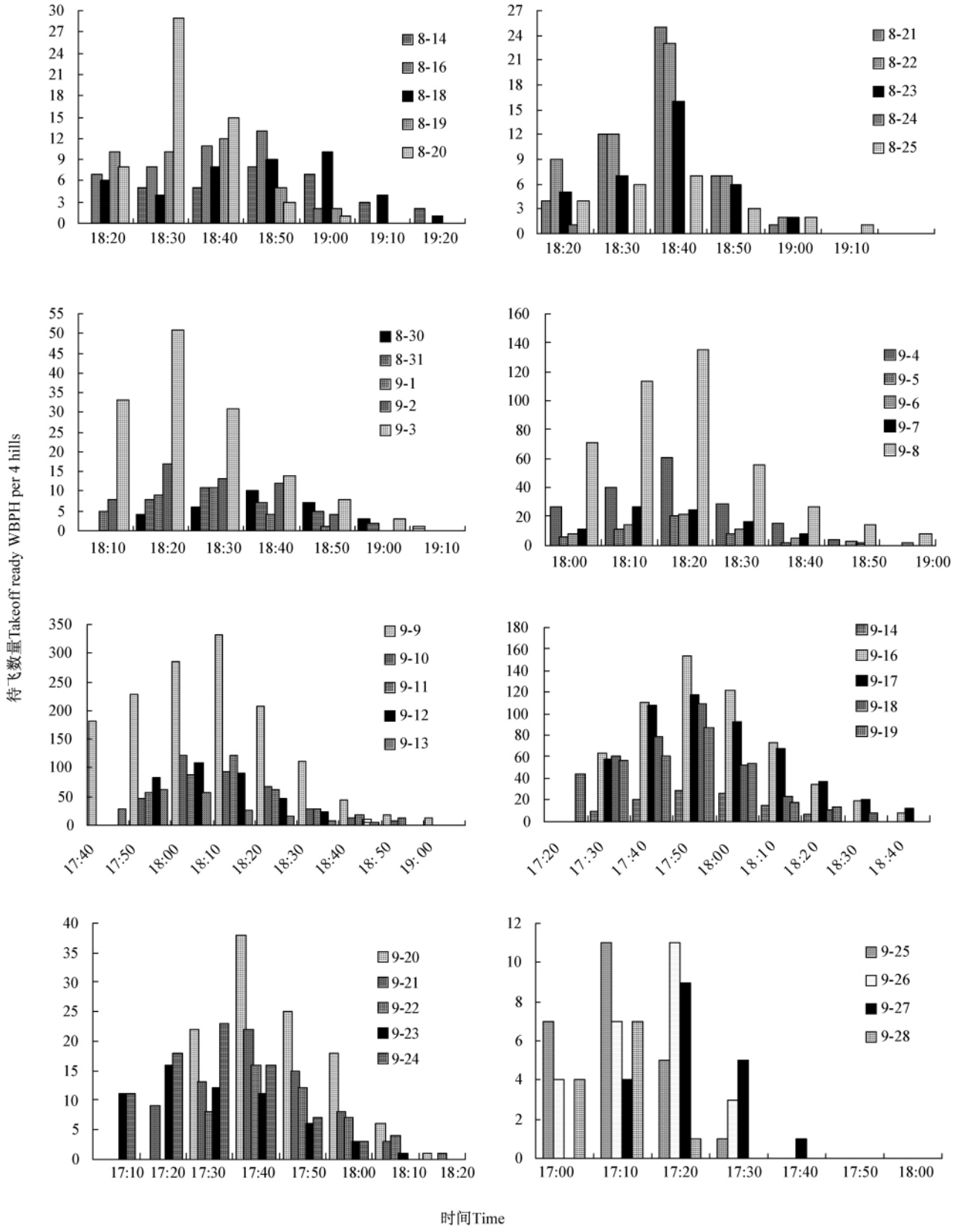

图 3 白背飞虱起飞观察:苏香粳上叶尖虫量变化(苏州,吴中,2002)

Fig. 3 The fluctuation of the takeoff ready WBPH on the top of rice plants (Wuzhong, Suzhou, 2002)

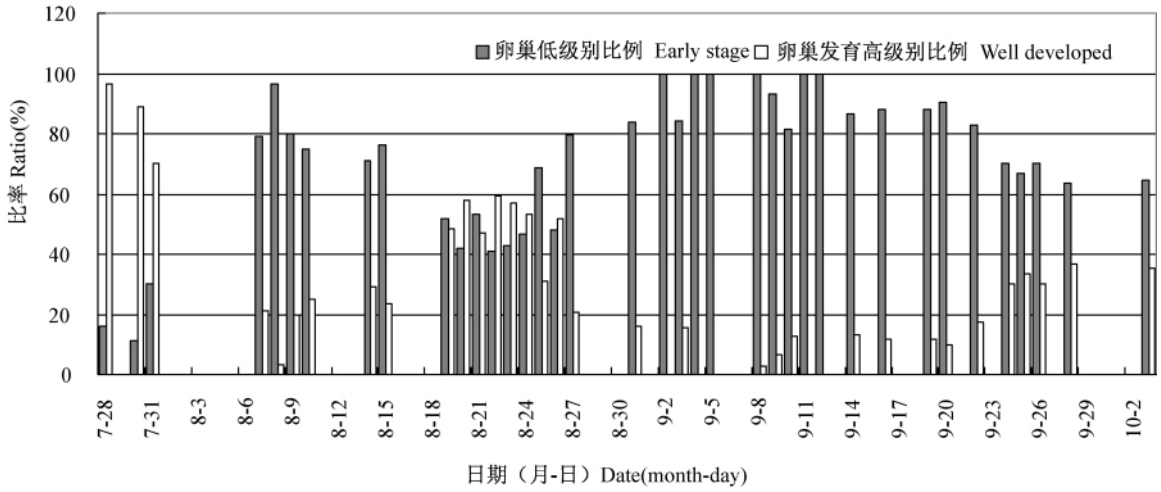

图 4　苏州吴中区 2002 年大田白背飞虱逐日卵巢解剖情况

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

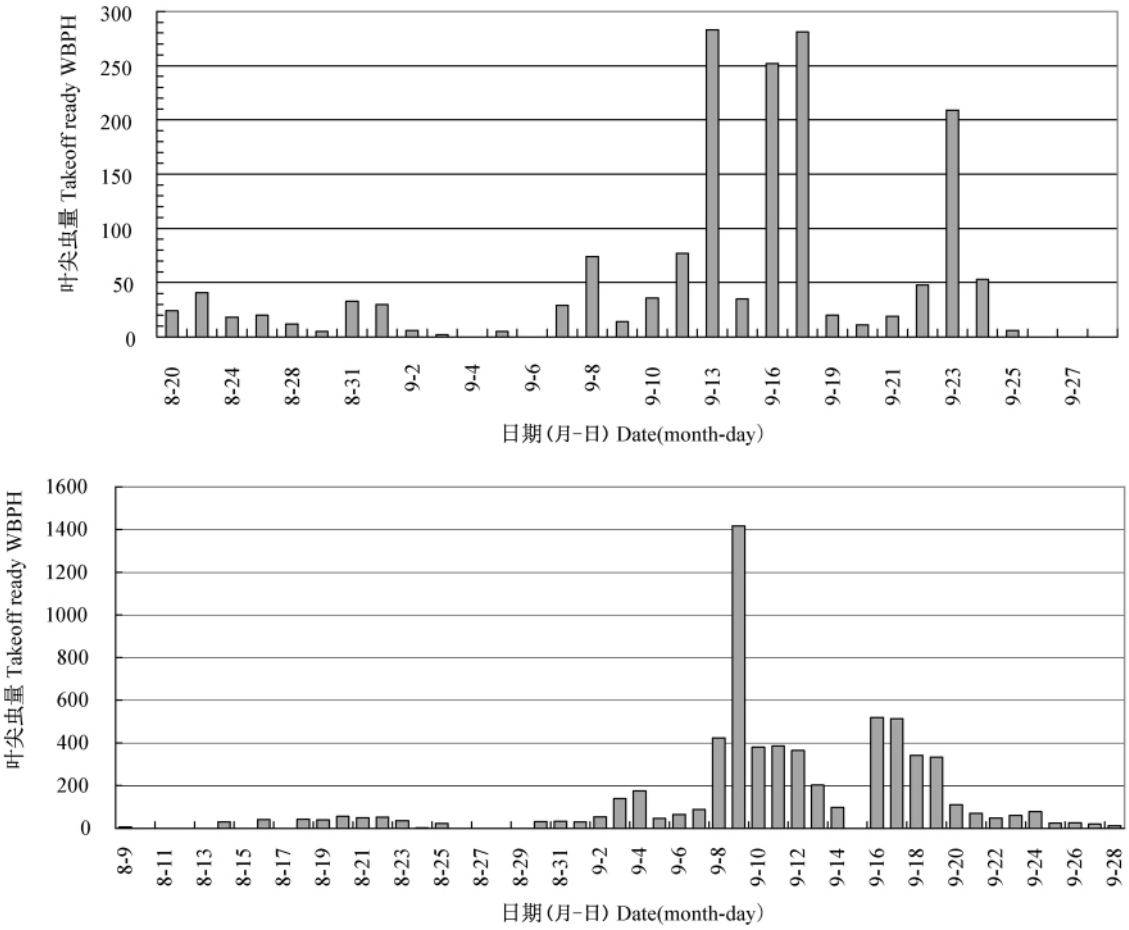

图 5　苏州吴中区 2011(上)和 2002 年(下)田间白背飞虱逐日待飞虫量

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

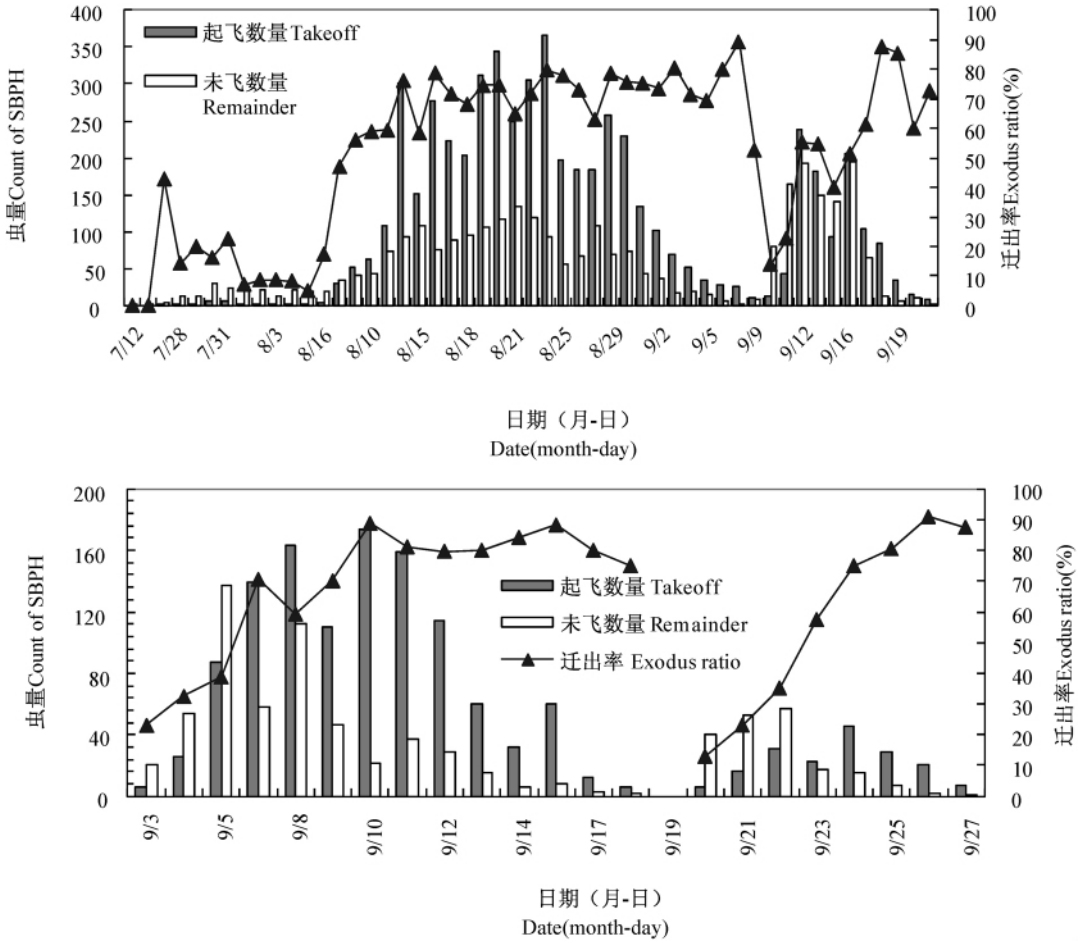

图 6　2002 年罩笼内白背飞虱逐日起飞虫量及迁出比例(上:苏香粳;下:9522)

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