白背飞虱的迁飞生物学:安徽潜山个例分析*

杨 帆[1**] 郑大兵[1] 赵 运[1] 王 丽[1] 徐杨洋[1] 齐国君[1,2]
徐劲峰[3] 吴彩玲[3] 张孝羲[1] 程遐年[1] 翟保平[1***]
(1. 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;
2. 广东省农业科学院植物保护研究所 广州 510640; 3. 安徽省潜山县植保站 潜山 246300)

摘 要 通过田间系统调查与雌虫卵巢系统解剖研究了2008—2010年潜山混作稻区白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth)的种群动态以及各发生世代的虫源性质,并结合2005年以来的灯诱及田间普查资料分析了造成不同年份白背飞虱种群消长态势差异性的主要原因。结果表明:(1)第3、4代白背飞虱分别在8月初和9月上中旬有2个发生高峰期,其中第3代主害单季中稻,第4代主害双季晚稻。(2)单季中稻和双季晚稻田白背飞虱各发生世代的虫源性质有所不同,中稻田四(2)代后期、五(3)代前期属于本地滞留、部分迁出,五(3)代后期属于大部迁出、少量滞留为害;而晚稻田五(3)代后期为基本迁入型,六(4)代前期为本地繁殖、少量迁出型,六(4)代后期大部迁出。(3)前期迁入虫量会影响田间2、3代种群数量,中稻田第3代滞留虫量的多少是影响双晚田后期发生量的重要因素,而降雨、温度等气象因子则是影响主害代(第3代)种群迁出与滞留的关键因子。

关键词 白背飞虱,卵巢发育,发生动态,种群性质

Migratory biology of the white-backed planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth): Case studies in Qianshan, Anhui Province

YANG Fan[1**] ZHENG Da-Bing[1] ZHAO Yun[1] WANG Li[1] XU Yang-Yang[1]
QI Guo-Jun[1,2] XU Jin-Feng[3] WU Cai-Ling[3] ZHANG Xiao-Xi[1]
CHENG Xia-Nian[1] ZHAI Bao-Ping[1***]
(1. 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;
2. Institute of Plant Protection, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China;
3. Qianshan Plant Protection Stations, Qianshan 246300, China)

Abstract The population dynamics and characteristics of the white-backed planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth) (WBPH) in a mixed cropping rice region in Qianshan, Anhui Province, were studied through systematic investigation of population density and female ovarian maturity from 2008 to 2010. The main causes for the generational and annual variation in population dynamics were analyzed in combination with data from daily light-trap catches and field surveys conducted since 2005. The following results were obtained: (1) WBPH had two main density peaks which occur in early August and mid September during the 3rd and 4th generations, respectively. The 3rd generation, which comprises the first peak of infestation, mainly damaged single-cropped rice fields whereas the 4th generation affected double-cropped, late-season rice fields. (2) The population characteristics of each generation of WBPH in single-cropped mid-season rice fields were different from those in double-cropped late-season rice fields. In the former, most WBPH were residents with some immigrants during the late stage of the 2nd generation and the early stage of the 3rd generation. However, during the late stage of the 3rd generation they were be mostly immigrants with a few residents. In contrast, in double-cropped late-season

* 资助项目:国家973资助项目(2010CB126200)、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: 2009102127@njau.edu.cn
*** 通讯作者,E-mail: bpzhai@njau.edu.cn

收稿日期:2011-08-08,接受日期:2011-08-28

rice fields, the population was comprised predominantly of immigrants during the late stage of the 3rd generation and the early stage of the 4th generation. These insects bred and developed before finally emigrating during the late stage of the 4th generation. (3) The number of early immigrants was the key factor determining fluctuations in the abundance of the 2nd and 3rd generation, and the proportion of 3rd generation residents, in single cropped mid-season rice, and appears to be the key factor influencing population size in double-cropped late-season rice fields. Meteorological factors, such as rainfall and temperature, play an important part in determining the emigration or retention of the 3rd generation.

Key words *Sogatella furcifera*, ovarian development, dynamics, population characteristics

潜山县位于安徽省安庆市,每年白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth) (WBPH) 的初始虫源于5、6月间从南方稻区随西南气流迁入,8月中旬开始大部北迁,为害淮河以北稻区(胡国文等,1988)。安庆地区位于南北气候交汇的交界处,是白背飞虱南北往返迁飞的必经之地,地理位置十分重要。而近年来随着长江中下游地区稻作制度的改革,安庆稻区不断扩单压双,成为典型的单双季和早中晚稻并存的混作稻区(Hu *et al.*, 2011),这种"四稻混栽"的复杂局面也使得该地区稻飞虱的发生规律非同寻常。因此,阐明皖南混作稻区稻飞虱的发生动态及为害特点对其测报与防治有着重要意义。

为此,作者于2008—2010年连续3年在安徽省潜山县设立系统调查田,采用田间系统调查与雌虫卵巢系统解剖相结合的方法,对单季中稻和双季晚稻田白背飞虱的发生动态和种群性质开展了系统研究;并结合历史虫情数据分析了2005年以来造成白背飞虱不同年份种群消长态势差异性的主要原因,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 虫情及气象资料来源

虫情资料:稻飞虱历史虫情数据由安徽省潜山县植保站提供,包括2005—2010年的逐日灯诱数据以及田间普查数据;2008—2010年系统调查数据为蹲点调查所得。

气象资料:采用国家气象信息中心提供的中国地面气候资料,包括逐日气温资料和24 h降水资料(网址:http://cdc.cma.gov.cn)。

1.2 系统田设置

在潜山县选取2种不同类型(单季中稻、双季晚稻)的水稻试验观测圃为系统调查田,所选稻田肥力中等、按常规栽培措施管理,整个生长期内不使用农药防治病虫害。其中中稻系统田为潜山县植保站生态示范田,连续多年未使用农药,4月下旬—5月下旬播种,6月中旬移栽,9月中下旬收割;晚稻田6月中下旬播种,7月下旬移栽,10月下旬收割。

1.3 田间调查与卵巢解剖

田间系统调查使用标准白瓷盘,采用随机多点盘拍法调查(全国褐飞虱科研协作组,1980),7月初开始、9月底结束,每隔3 d 1次,分别记录各虫态数量,并折算成百丛虫量,同时记录水稻的生育期。系统调查时用吸虫管随机吸取30头以上白背飞虱长翅型雌虫进行解剖,记录卵巢发育级别,作为田间种群虫源性质的判据。卵巢分级参照全国白背飞虱科研协作组(1981)提出的分级标准;并根据实际情况,制定如下白背飞虱种群世代虫源性质划分标准(表1)。

1.4 稻飞虱发生的代次划分

根据全国病虫测报系统的标准,将6月20日前的迁入种群划为第1代,6月21日至7月20日发生的飞虱划为第2代,以此类推,人为划定每月发生一代。同时,为了更清晰地标明当地发生世代与全国发生世代(从两广的早期迁入起算)的关系,将全国代次以大写中文数字表示,当地发生代次用阿拉伯数码示之并用括号括起来置于全国世代之后。如五(3)指当地第3代全国第5代。

1.5 数据分析方法

用Excel以及SAS统计软件进行数据处理和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 潜山县白背飞虱田间种群动态

2008—2010连续3年对潜山单季中稻和双季晚稻田白背飞虱的种群发生动态进行系统调查的结果表明:白背飞虱在潜山常年可发生4~5代,

表 1　白背飞虱田间种群虫源性质的划分

Table 1　The classification of population characteristics of WBPH

类型 Type	虫源性质 Population characteristics	卵巢发育程度 The ovarian development grade (%)	
		Ⅰ－Ⅱ	Ⅲ－Ⅴ
Ⅰ	迁入种群 Immigration	<20	>80
Ⅱ	部分滞留、部分迁出 Partly local breeding and partly emigration	60－80	20－40
Ⅲ	迁出种群 Emigration	>80	<20

长翅型成虫于 6 月上旬始见迁入。其中第 3、4 代白背飞虱分别在 8 月初和 9 月上中旬有 2 个发生高峰期。第 3 代为害高峰期正值中稻孕穗期,主害单季中稻;第 4 代为害高峰期正值晚稻孕穗－抽穗期,主害双季晚稻(图 1)。

5 月中下旬早稻正值分蘖盛期,早期迁入的白背飞虱主要为害早稻田;单季稻一般在 4 月下旬—5 月下旬播种,6 月中旬移栽,6—7 月连续 2 代的迁入可以直接降落在单季稻本田,并连续 2 代繁衍、迁飞,且此时单季稻大多处于分蘖盛期－拔节期,食料条件优越,种群迅速增值,积累了充足的虫源基数;8 月中旬白背飞虱长翅型成虫出现羽化高峰,此时单季稻进入抽穗期,主害代羽化出的 4 代虫源多数外迁,种群密度迅速降低,部分滞留危害的白背飞虱向正值分蘖盛期的双晚田大量转移,从而形成又一为害高峰。因此,白背飞虱在中稻和双晚田的种群发展动态是:7 月上、中旬中稻田种群数量呈显著上升趋势,7 月底至 8 月初虫量达高峰,8 月上中旬田间长翅型成虫盛发,之后种群密度迅速降低;9 月上、中旬在晚稻穗期形成第 2 个为害高峰。

但是白背飞虱在不同年份的种群消长态势有所差异。在系统观测圃中,如图 1 所示,2008—2010 年白背飞虱在中稻田的发生量和发生期基本一致,五(3)代种群数量于 7 月底—8 月初达到高峰,峰日百丛虫量维持在 3 000 头左右;而在双晚田中 3 年的发生为害程度变动较大,2010 年双晚田虫口密度明显低于中稻田,峰日百丛虫量只有百头级(310 头/百丛),而 2008、2009 年白背飞虱在双晚田的发生量则显著高于中稻田,其中 2008 年峰日百丛虫量为千头级(5 180 头/百丛),2009 年则高达万头级(28 710 头/百丛)。再结合 2005—2010 年的普查数据(表 2),发现 2005、2006、2007、2010 年白背飞虱在中稻田的发生量均高于晚稻田,五(3)代为主害代,2006、2007 年中稻田百丛虫量最大值均过万,分别高达 12 317、16 020头,而双晚田的虫口密度则要小得多;相反,2008、2009 年中稻田的发生量并不大,峰期平均百丛虫量仅千头左右,但晚稻却发生严重,受害程度远远重于中稻。

2.2　白背飞虱田间种群虫源性质

2.2.1　单季中稻田白背飞虱种群卵巢发育进度和虫源性质　2008—2010 年 7—9 月对单季中稻田白背飞虱雌虫卵巢进行逐日解剖,以确定各代种群的虫源性质,结果如表 3 所示。白背飞虱在潜山不能越冬,初始虫源均从外地迁入,因此本文未对 1 代虫源进行卵巢解剖。第 2 代虫源前期数量较少,也未作解剖,后期种群数量开始上升,2010 年四(2)代于 7 月 16 日—7 月 23 日的解剖结果为:Ⅲ级以上的卵巢比例占 39.7%,Ⅰ、Ⅱ级未成熟的卵巢比例分别占 40.5%、19.8%,交配率为 34.5%,可见白背飞虱四(2)代后期既有本地滞留型又有部分迁出。五(3)代分为 2 个阶段:8 月 1 日之前,2009 年解剖结果为Ⅰ、Ⅱ及Ⅲ级以上卵巢比例分别占 28.5%、59.6%、11.9%,说明是以迁出为主,少量滞留繁殖;而 2010 年解剖结果为Ⅰ、Ⅱ级卵巢比例占 61.5%、9.6%,Ⅲ级以上 28.9%,交配率 28.9%,属部分滞留,部分迁出;8 月 1 日之后,低级别卵巢比例明显上升,3 年的解剖结果均显示Ⅰ、Ⅱ级比例超过 90%,属于大部迁出种群,但 2008 年此期仍有 9.1% 的雌虫卵巢级别在Ⅲ级以上,故五(3)代后期为大部迁出型、少量滞留为害。六(4)代白背飞虱在中稻田的种群密度显著降低,2008 年解剖结果显示Ⅰ、Ⅱ级未成熟的卵巢比例分别占 92.4% 和 3.3%,交配率为 0,为典型的大部迁出型。

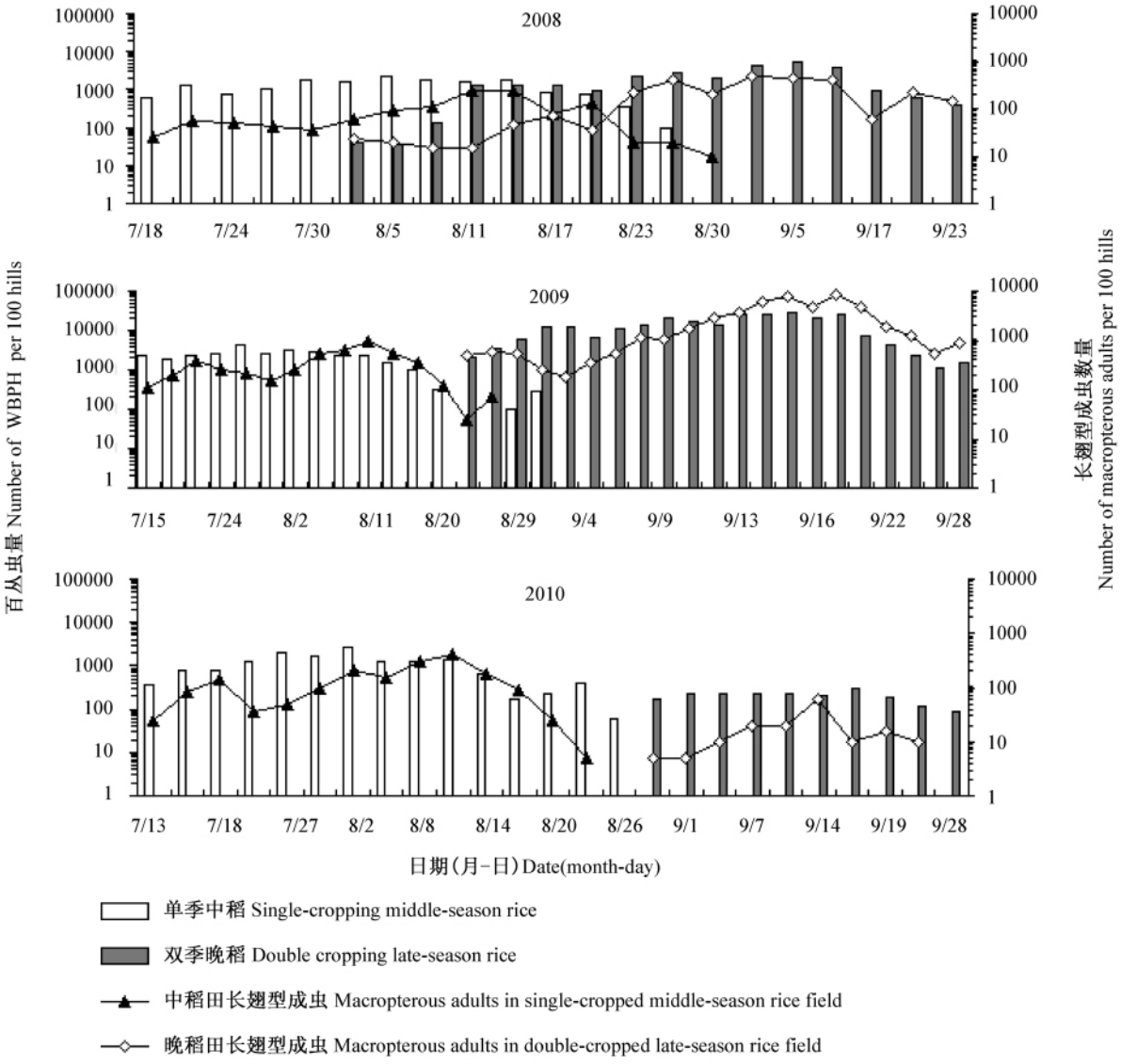

图 1　2008—2010 年潜山县不同类型水稻系统田白背飞虱田间种群动态

Fig. 1　Population dynamics of WBPH in different rice fields from 2008 to 2010, Qianshan

注:纵坐标所示虫量为其对数值。The Y-values are in a log scale.

2.2.2　双季晚稻田白背飞虱种群卵巢发育进度和虫源性质　以 2008、2009 年为例,对 8 月上旬—9 月下旬潜山县双季晚稻田白背飞虱的种群性质进行分析,结果如表 4 所示。2008 年白背飞虱在晚稻田的发生期较 2009 和 2010 年都早,五(3)代后期种群在中稻和晚稻田同时发生危害,8 月 5 日—8 月 20 日晚稻田的解剖结果为:Ⅰ、Ⅱ级未成熟卵巢比例占 18.4%,Ⅲ级以上占 81.6%,交配率高达 68.4%,说明此期白背飞虱的种群性质为典型迁入型。六(4)代划分为两个时期:第一阶段为 8 月下旬—9 月上旬,2008 年解剖结果为Ⅰ级 52.2%、Ⅱ级 2.9%、Ⅲ级以上 44.9%,交配率 42.1%;2009 年为Ⅰ级 40.7%、Ⅱ级 21.0%、Ⅲ级以上 38.3%,种群性质均属于部分本地繁殖和少量迁出;第二阶段,9 月中旬白背飞虱长翅型成虫盛发,之后雌虫卵巢解剖级别一直很低,Ⅰ、Ⅱ级比例超过 90%,种群性质为大部迁出型。

表 2　2005—2010 年潜山县白背飞虱各类农家稻田种群发生动态普查分析

Table 2　The population density of WBPH of farmer's paddies in Qianshan from 2005 to 2010

年份 Year	水稻类型田 Rice type	白背飞虱最大虫量 The maximum of WBPH			峰期平均值(头/百丛) Mean counts of WBPH per 100 hills during peak period		
		日期(月-日) Date (month-day)	水稻生育期 The growth period of rice	百丛虫量 The counts of WBPH per 100 hills	第 2 代 2nd generation	第 3 代 3rd generation	第 4 代 4th generation
2005	早稻	06-09	孕穗期	190	101	-	-
	单季中稻	08-03	孕穗期	6 830	1 661	2 035	176
	双季晚稻	09-07	扬花期	3 210	-	440	810
2006	早稻	06-24	乳熟期	40	16	-	-
	单季中稻	08-08	孕穗期	12 317	1 008	2 308	-
	双季晚稻	08-21	孕穗初	740	-	273	234
2007	早稻	06-11	孕穗期	390	179	-	-
	单季中稻	08-13	齐穗期	16 020	2 345	2 535	765
	双季晚稻	09-03	孕穗期	7 450	-	672	783
2008	早稻	06-25	齐穗期	280	110	-	-
	单季中稻	08-12	破口期	3 267	590	1 158	463
	双季晚稻	09-03	孕穗期	3 200	-	1 423	2 470
2009	早稻	06-18	齐穗期	170	130	-	-
	单季中稻	08-30	乳熟期	7 350	420	905	2 017
	双季晚稻	08-28	孕穗期	10 870	-	1 510	2 103
2010	早稻	07-20	黄熟期	2 260	1 267	-	-
	单季中稻	08-03	孕穗期	5 140	637	1 601	189
	双季晚稻	08-31	分蘖末	230	-	-	179

表 3　潜山中稻田白背飞虱各发生世代的卵巢发育程度

Table 3　The ovarian development of WBPH for each generation in single-cropped mid-season rice field, Qianshan

代次 Generation	日期(月/日) Date (month/day)	年份 Year	卵巢发育程度各级别比例(%) Ovarian development grades(%)			交配率(%) Mated ratio(%)
			Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ-Ⅴ	
四(2)	6/21-7/15	—	—	—	—	—
	7/16-7/22	2010	40.5	19.8	39.7	34.5
五(3)	7/21-7/31	2010	61.5	9.6	28.9	28.9
		2009	28.5	59.6	11.9	—
	8/1-8/20	2010	96.3	3.0	0.7	0.3
		2009	73.8	23.9	2.3	—
		2008	84.1	6.8	9.1	9.1
六(4)	8/21-9/23	2008	92.4	3.3	4.3	0

由此可见,单季中稻田和双季晚稻田中白背飞虱各世代的虫源性质存在显著差异。单季稻比双季晚稻早发生 1 到 2 个世代,重发年四(2)代、五(3)代和六(4)代可相继发生危害,其中四(2)

代后期、五(3)代前期属于部分滞留繁殖并有部分迁出,五(3)代后期、六(4)代前期属于大部迁出型,少量种群滞留为害;而在双季晚稻田白背飞虱可发生1~2代,五(3)代后期种群性质为基本迁入型,除外地迁入外,本地中稻田重发年五(3)代后期也可扩散至双晚田为害,六(4)代是双晚田的主害代,前期既有部分本地繁殖、又有少量迁出,后期大部迁出。

表4 2008、2009年潜山双季晚稻田白背飞虱各发生世代的卵巢发育程度

Table 4 The ovarian development of WBPH in double-cropped late-season rice field, Qianshan, 2008 and 2009

年份 Year	代次 Generation	日期(月/日) Date (month/day)	卵巢发育程度各级别比例(%) Ovarian development grades(%)			交配率(%) Mated ratio(%)
			Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ-Ⅴ	
2008	五(3)	8/5-8/20	18.4	0	81.6	68.4
	六(4)	8/23-9/8	52.2	2.9	44.9	42.0
		9/17-9/23	100	0	0	0
2009	六(4)	8/24-9/5	40.7	21.0	38.3	—
		9/6-9/22	87.3	8.5	4.2	—

2.2.3 白背飞虱的迁出特性 统计2008—2010年单季中稻系统田白背飞虱和褐飞虱各代长翅型成虫的比率,可知白背飞虱各代长翅型比例明显高于褐飞虱,2010年中稻田白背飞虱第2、3代长翅型成虫分别占86.2%、96.9%,而褐飞虱仅为30.6%、59.1%。通常认为田间短翅型的出现表明种群进入本地繁殖、定居增长的阶段,而白背飞虱从迁入后的第2代开始长翅型比例就一直居高不下,说明它与褐飞虱长翅成虫主要在水稻黄熟期盛发迁出的习性有所不同,长翅型的盛发与水稻黄熟期间的关系并不密切。

比对白背飞虱各代不同时段的雌虫卵巢解剖结果,同样表明白背飞虱的迁出期并不是对水稻生育期的响应。如2010年7月18日田间出现四(2)代长翅型成虫羽化高峰,7月16—22日的解剖结果显示,低级别的未成熟卵巢的比例超过了60%,并在此后逐渐增加。然而此期正值单季中稻的拔节期,食料条件相当优越,田间种群正处于上升增长期,却存在如此大比例的卵巢未成熟的个体,属于部分迁出型。7月23—30日中稻刚刚进入孕穗期,Ⅰ、Ⅱ级未成熟的卵巢比例已经超过70%,说明在此期间四(2)代白背飞虱不断羽化的长翅型成虫已经陆续向外迁出。由此可见,与褐飞虱不同,白背飞虱各代均产生相当数量的长翅型成虫且均有向外迁出的特性。

结合田间种群发生动态,可知潜山白背飞虱各代的迁出特性:7月下旬(中稻拔节期)羽化的第2代虫源首次少量迁出;第3代种群于8月中旬(中稻孕穗期)大量羽化后盛发迁出,为中稻田的主要迁出世代;部分滞留为害的第4代虫源于9月上中旬形成又一迁出峰,为晚稻田的主要迁出世代。

2.3 不同年份白背飞虱种群消长态势差异性分析

2.3.1 白背飞虱灯下虫量与田间各代峰期虫量的关系 统计潜山县2005—2010年6—9月各旬白背飞虱灯诱虫量与田间各代各峰次的日平均百丛虫量(表5)的相关性,结果表明:田间第2代峰期虫量(7月中旬)与第2代6月下旬($r = 0.9064^{*}$, $P = 0.0127$)、7月上旬($r = 0.8351^{*}$, $P = 0.0385$)灯诱虫量呈显著正相关,第3代峰期虫量(8月上中旬)与第2代7月上旬($r = 0.9590^{**}$, $P = 0.0025$)、第3代7月下旬($r = 0.8641^{*}$, $P = 0.0265$)灯诱虫量呈显著正相关,而第4代田间峰期虫量与灯下虫量未表现出相关关系。这说明,田间2、3代虫量受前期外地迁入虫量的影响比较大,而第4代田间发生量与成虫迁入量的关系不大,主要由本地繁殖的个体构成。总的看来,2005—2007年6月—8月中旬(第2、3代发生期)的灯诱虫量都较2008—2010年大,由此田间2、3代虫口密度也相对较高,但前3年白背飞虱第4代的发生量却都较少。2010年第3代

发生量也较大,但第 4 代同样发生很轻。相反 2008 年第 3 代发生量不大,而第 4 代却发生最多,也说明双季后作稻中六(4)代种群消长的原因还受其他因素的影响。

表 5　潜山县 2005—2010 年 6—9 月各旬白背飞虱灯诱虫量与各代峰期日均百丛虫量

Table 5　Daily light trap catches of WBPH during every ten days from June to September and the mean daily counts of WBPH per 100 hills in the peak period of each generation, Qianshan, 2005—2010

年份 Year	灯诱虫量 Light trap catches of WBPH											各代峰期日均百丛虫量 Mean daily counts of WBPH per 100 hills in the peak period of each generation		
	$6A_0$	6C	7A	7B	7C	8A	8B	8C	9 A	9B	9C	2^{nd} generation	3^{rd} generation	4^{th} generation
2005	2 554	2 750	1 188	802	2 278	1 006	925	320	5 102	6 284	4 485	1 661	2 035	810
2006	1 494	4 88	1 295	3 054	1 691	1 116	2 097	1 102	814	662	82	1 008	2 308	234
2007	1 463	2 468	1 293	1 087	3 121	992	400	1 229	352	592	2 862	2 345	2 535	783
2008	106	252	317	166	85	772	379	1 396	495	1 452	1 345	590	1 158	2 470
2009	328	216	138	317	422	359	1426	308	289	343	222	420	905	2 103
2010	537	667	397	475	86	88	92	24	21	83	–	637	1 601	179

注:(1) A_0 – 6 月 20 日之前,6C – 6 月下旬,7A – 7 月上旬,7B – 7 月中旬,依此类推;(2) 表中所示田间虫量均为大田普查数据。

(1) A_0 – the day before the 20th of June, 6C – the last ten days of June, 7A – the first ten days of July, 7B – the mid ten days of July, and so on; (2) The counts of WBPH in each generation were from field survey in farmer's paddy.

2.3.2　中稻田滞留为害虫量对双晚田后期发生量的影响　在单季中稻田中,白背飞虱五(3)代后期短翅型成虫数量以及长翅型雌虫卵巢Ⅲ级以上所占的比例可以反映当代滞留种群的百分比,由此可以推算得当代滞留虫量大小的一个理论指标值(见图 2 注),双晚田六(4)代白背飞虱的田间发生量以峰期田间日均百丛虫量表示,将两者进行比较分析,可见 2008—2010 年中稻系统田中白背飞虱五(3)代后期滞留虫量理论指标值与双晚田后期发生量表现出很好的正相关性(图 2)。这说明白背飞虱五(3)代滞留虫量的大小是影响六(4)代种群数量的关键因子之一。

2.3.3　气候因素与白背飞虱发生量的关系　气候因子不仅对白背飞虱种群的迁入、迁出等产生影响,而且对迁入定居后的种群表现起到调控作用,其中降雨及温度又是影响白背飞虱种群(特别是主害代)发展的主要因子。

比较 2005—2010 年潜山县中稻田白背飞虱第 3 代羽化高峰期(8 月上中旬)的降雨情况及温度变化,结果表明: 此期的降雨天数与双晚田第 4 代发生量(峰期日均虫量)呈显著正相关($r = 0.9355^{*}$, $P = 0.0061$),而与降雨量并无明显相关性(表 6)。由图 3 可知,2008、2009 年的 7 月底至 8 月初均出现一段时间的小幅降温过程,这应该与此期降雨较多有关,而 2005 年却是持续高温天气。且 2009 年的凉爽天气从 7 月 24 日一直持续到 8 月 14 日,平均气温 27℃,而这段时间恰巧与中稻田五(3)代的羽化高峰期吻合; 8 月 30 日出现又一轮降雨过程,9 月 1、2 日晚稻田出现六(4)代卵孵高峰。这说明,在五(3)代后期,白背飞虱羽化峰期如果雨日多,既可缓解夏季高温,又增加了田间相对湿度,有利于白背飞虱的产卵繁殖; 另一方面,此期多雨不利于长翅型成虫的起飞远迁而在本地作田块间的扩散,从而增大了本地双晚田六(4)代的虫源基数。由此可见,2008、2009 年五(3)代后期羽化高峰期雨日偏多、降雨量偏大,会形成五(3)代较多的滞留虫源,而 2005—2007 年以及 2010 年 2、3 代虫量虽然大,但是后期雨日不多,羽化出的长翅成虫可以顺利外迁,加之高温抑制,不适宜白背飞虱定居,虫口密度迅速下降。这是造成 2008、2009 年白背飞虱六(4)代种群在双晚田后期发生严重的关键因素之一。

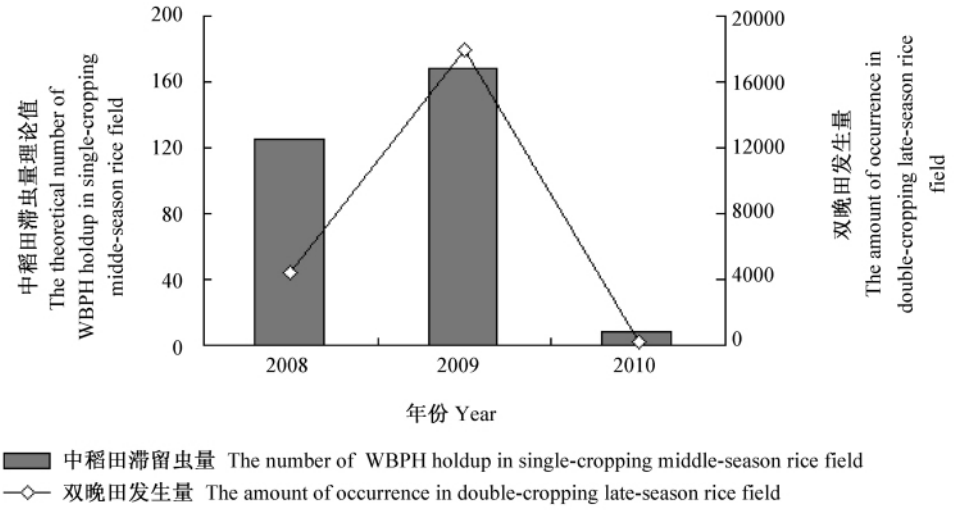

图 2 2008—2010 年中稻田白背飞虱第 3 代滞留虫量与双晚田第 4 代发生量(系统田)的关系

Fig. 2 The relationship between the retained WBPH of the 3rd generation in mid-season rice field and the population density of WBPH of the 4th generation in late-season rice field from 2008 to 2010

注:(1)中稻田第 3 代滞留虫量理论指标值 = 第 3 代羽化高峰期长翅型成虫日均百丛虫量 × 雌虫 3 级以上卵巢所占比例 + 此时期短翅型成虫日平均百丛虫量;(2)双晚田发生量以第 4 代峰期日均百丛虫量表示。

(1) The theoretical amounts of retained WBPH of the 3rd generation in mid-season rice fields = Multiplying the mean daily counts of macropterous adults per 100 hills in the peak period for the 3rd generation by the tatio of ovarian development grades above level three and plus numbers of brachypterous adults during the same period . (2) The population density of WBPH in late-season rice field means the mean daily counts of WBPH per 100 hills in the peak period for the 4th generation.

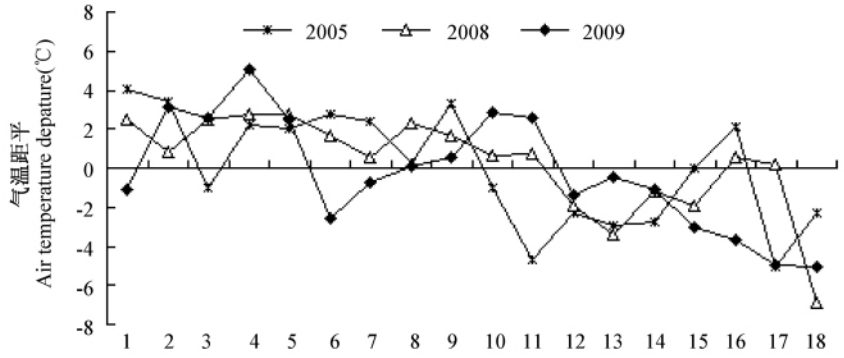

图 3 潜山县 2005、2008、2009 年 7—9 月候平均气温距平

Fig. 3 The anomaly of the mean air temperature every five days during July to September in 2005、2008 and 2009, Qianshan

横坐标代表 7—9 月第 1 到第 18 个不同候数。如 1 表示 7 月 1 日—7 月 5 日,2 表示 7 月 6 日—7 月 10 日,7 表示 8 月 1 日—8 月 5 日,依此类推。

In abscissa axis, the number 1—18 represented each five days from July to September. For example, 1 means the date from 1st, July to 5th, July, and 2 means 6th, July to 10th, July, 7 means 1st, August to 5th, August, and so on.

表 6　2005—2010 年中稻田白背飞虱第 3 代羽化高峰期降雨情况与双晚田第 4 代发生量(普查数据)的相关性分析

Table 6　Correlation analysis between the rainfall during emergence peak period of WBPH for the 3rd generation in single-cropped mid-season rice field and the counts of WBPH for the 4th generation in farmer's late-season rice field, Qianshan, 2005 to 2010

年份 Year	峰期(月/日) Peak period (month/day)	雨日 Rainy day (d)	累积雨量 Total rainfall (mm)	双晚田发生量 Number of WBPH in late-season rice field
2005	8/6 – 8/18	5	14.7	810
2006	8/3 – 8/15	3	1.6	234
2007	8/6 – 8/18	5	31.0	783
2008	8/8 – 8/20	8	19.5	2 470
2009	8/5 – 8/17	10	15.9	2 103
2010	8/2 – 8/14	2	21.5	179
r		0.9355*	0.2528	
P		0.0061	0.1663	

注: (1) 将羽化高峰期确定为高峰日前后 6 d; (2) * 相关系数的显著性概率水平为 0.05。

(1) The ecdysis peak period was designate as six days before and after the peak day. (2) * correlation is significant at the 0.05 level.

3　讨论

3.1　白背飞虱迁出期与水稻生育期的关系

我国 1980 年代对白背飞虱迁飞的研究表明，白背飞虱的迁出特性与褐飞虱有所不同，长翅型成虫的起飞数量与水稻生育期关系不如褐飞虱稳定。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; 而且各代长翅型成虫出现比率高，一般达 80% 以上。一般乳熟期水稻上的成虫起飞比率最大，起飞期最长，拔节期水稻上成虫起飞比率也高，分孽期水稻上的成虫起飞比率低，起飞期短。故其迁出行为不完全受水稻生育期的限制。(全国白背飞虱科研协作组，1981; 赖仲廉，1982)。

但进入 20 世纪 90 年代后，随着感虫杂交稻品种种植面积的不断扩大以及高肥(以氮肥为主)密植栽培技术的推广，白背飞虱的食料条件有了很大改善(汤金仪等，1996; 唐启义等，1998)，其迁出行为也发生了相应的变化。据汪远昆等 2001—2002 年在苏州吴中区的研究，白背飞虱在繁殖一代后长翅型比例大大减少，滞留为害的种群数量越来越多。田间长翅型比例到 9 月份才迅速升高，其迁出峰期也相应后延，9 月份出现大田迁出峰。这样的迁飞特性已与褐飞虱的发生模式非常相似(汪远昆，2003; 汪远昆等，2011)。

本研究通过 3 年的田间系统调查以及雌虫卵巢系统解剖，发现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，这似乎又回到了 20 世纪 80 年代的情景。

在 30 年时间里，白背飞虱的迁飞特性出现了这样一个轮回，原因何在。考察一下褐飞虱种群数量的演化过程，似与白背飞虱迁飞特性的变化有某种程度的关联。褐飞虱在 20 世纪 70 和 80 年代频频暴发，最终酿成 1987 年和 1991 年 2 次全国性特大发生和 1997 年在长江下游稻区的局部暴发。但此后褐飞虱突然销声匿迹，田间虫量极低以至于相关研究试验都很难采到虫子。到了 2005 年，沉寂 10 年的褐飞虱突然卷土重来，连续 3 年全国性大暴发，其虫量之大前所未有。与之相对应，白背飞虱的迁飞特性正是在褐飞虱数量发生大幅度转折的节点上起了变化。

那么，20 世纪 90 年代发生了什么事件引发了褐飞虱数量的大起大落和白背飞虱行为的轮回变化? 一是杂交稻的大面积推广，二是吡虫啉的大量生产和高频度高强度应用，然后是十年后褐飞虱对吡虫啉抗性的形成(翟保平和程家安，2006)。

褐飞虱的数量动态和白背飞虱的行为变化之间有无因果关系？王荣富等(1997,1998)的研究似乎能给出合理的解释：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。或许20世纪90年代中期开始褐飞虱的缺席使得白背飞虱的生存环境大大改善，加上白背飞虱对杂交稻的高适合度，便有越来越多的白背飞虱滞留危害并最终导致其行为模式的改变。后来，当吡虫啉黯然退场褐飞虱重出江湖之际，白背飞虱便再次出现行为变化，恢复了原有的迁飞特性。

3.2 主迁出代滞留虫量增加是造成晚稻受害严重的主要原因

白背飞虱的种群发展一般包括迁入定居、繁殖增长、迁出3个阶段，其种群的消长动态受多种因素的制约和影响。祝增荣(1999)将白背飞虱的种群增长格局归结为3种方式：Ⅰ：G2 > G1 且 G2 > G3，第2代为主害代；Ⅱ：G1 > G2 > G3，高峰世代为第1代；Ⅲ：G3 > G2 > G1，种群大小随世代的增加而增加。四川省秀山县植保站(1989)将白背飞虱的种群发展分为3个类型：1、低温阴雨轻发型；2、偏暖多雨中发型；3、偏暖少雨重发型。许多研究亦表明迁入虫量、温度、降水、田间种群密度以及食料条件等都能影响白背飞虱田间种群的发展动态(刘芹轩等，1982；胡国文等，1982；黄次伟和冯炳灿，1991；秦厚国等，1992；祝增荣等，1994)。

在潜山混作稻区特定的栽培制度下，早、中、晚稻的混作造成同一区域范围内稻田生境的连续存在，白背飞虱各世代的发生动态也尤为复杂，在不同类型稻田、不同年份之间表现出显著差异。20世纪90年代以来，随着整个长江中下游稻区不断推行双改单，潜山县单季稻的面积逐年增加，双季晚稻的面积从2000年的184 590 hm^2 下降到2010年的13 000 hm^2，所占比例也从40.3%减少到25%。当然不断“扩单压双”终究造成了2005、2006年褐飞虱的大暴发。但是即使在大发生年，白背飞虱也主害中稻田，晚稻的发生程度一般要轻得多。而本研究却发现2008、2009年白背飞虱在晚稻的发生量远大于中稻，分析其原因，认为中稻田第3代滞留虫量增加是造成第4代种群持续增长并严重为害晚稻的主要原因；而降雨、温度等气象因子则是影响主害代(第3代)种群迁出与滞留的关键因子。朗志飞(2001)的研究结果亦表明，白背飞虱翅型分化及田间第3代迁出与滞留受温度影响较大，气温24～28℃间短翅率较高，长翅型雌虫中迁飞型比率较低，适于定居；超出该温区，结果相反，且对高温更敏感，这与本文研究结果一致。Matsumura(1997)也曾研究了白背飞虱长翅型雌虫的卵巢发育程度与其田间滞留的关系，认为部分长翅型成虫在中稻的生育后期是有滞留的可能性的。但是遗憾的是国内有关滞留生理生态机制的专题研究报道很少。

白背飞虱与褐飞虱常混合发生于稻田生态系统中。由于白背飞虱的迁入期比褐飞虱早，前期种群数量远高于褐飞虱，但是后期这种优势地位会逐渐被具有高繁殖力的褐飞虱所取代。关于两者的相互作用关系也是历来学者争论的焦点。Kuno(1968)提出在田间自然状态下，褐飞虱与白背飞虱种间的相互作用不太明显，总体上存在正相关倾向；王荣富等(1997)认为褐飞虱与白背飞虱之间存在不同程度的相互作用过程，2种飞虱种间作用对增殖、性比和翅型产生正或负的效应；周强等(2000)运用地统计学研究2种飞虱自然混合种群密度的空间分布关系，认为两者种间关系复杂，既有正相关系，也存在负相关，而且还有不相关关系；赵伟春等(2001)则认为两者共存时种间存在互利关系，主要表现为两种飞虱的若虫存活率、成虫短翅率、单雌每天产卵量和后代若虫孵化率在混合饲养时比1种飞虱单独饲养时均有不同程度的提高。

在安徽潜山，2005—2007年3年均为褐飞虱的大发生年，尽管前期白背飞虱的迁入量特别大，但在后期并未形成气候；而2008、2009年为褐飞虱的中等偏轻发生年，白背飞虱却在中稻后期形成大量滞留种群，严重为害当地晚稻。那么造成近年来潜山县不同年份白背飞虱种群消长态势差异性的原因是否可能与褐飞虱的发生情况有关呢？2009年潜山中稻系统田中白背飞虱的种群数量一直远远大于褐飞虱，直到水稻黄熟期褐飞虱的最大虫量仅为45头/百丛；在晚稻田中褐飞虱的种群数量虽有小幅上升，但白背飞虱依然为绝对优势种，且虫量高出中稻田白背飞虱1个量级，比中稻田和晚稻田褐飞虱数量高出2个量级，后期系统田受白背飞虱为害大片倒伏，几乎绝收！

这究竟是本种增殖的结果,还是外地因素(如迁入量等)造成的? 也许 2 种飞虱共栖时的种间关系对彼此的种群消长存在一定的相互作用,但这种作用是直接的,还是间接的? 是促进,还是抑制? 需要进一步的深入研究。

就白背飞虱的迁出期而言,由于各地气候特点和水稻栽培制度的关系,一些地区一年内只有一段主要迁出期,一些地区则因主迁入峰次多、稻田混栽以及多雨等原因,每次迁出后都有相当虫量残留当地继续繁殖为害。各地迁入、迁出的峰次频繁,加之世代重叠现象严重,因而形成非常复杂的局面,同时也大大增加了各地预测预报的难度。因此,从各地的实际情况出发,阐明白背飞虱种群动态的时空变化规律有十分重要的意义。

参考文献(References)

Hu G, Cheng XN, Qi GJ, Wang FY, Lu F, Zhang XX, Zhai BP, 2011. Rice planting systems, global warming, and outbreaks of *Nilaparvata lugens* (Stål). *Bull. Entomol. Res.*, 101(2): 187—199.

胡国文, 谢明霞, 汪毓才, 1982. 白背飞虱成虫起飞的影响因素. 西南农学院学报, (1): 59—65.

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—48.

黄次伟, 冯炳灿, 1991. 水稻生育期对白背飞虱种群增大的影响. 浙江农业学报, 3(1): 9—13.

Kuno E, 1968. Studies on the population dynamics of rice leafhoppers in a paddy field. *Bull. Kyushu. Agri. Exp. Sta.*, 14: 131—246.

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

郎志飞, 2001. 江淮稻区白背飞虱种群上升及灾变机制研究. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学.

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, 6(3): 59—66.

Matsumura M, 1997. Seasonal prevalence of ovarian development in macropterous females of white—backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Horváth) (Hemiptera: Delphacidae) in paddy fields. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.*, 41 (2): 75—82.

秦厚国, 叶正嬗, 黄荣华, 李华, 1992. 白背飞虱种群密度效应的研究. 江西农业学报, 4(2): 130—133.

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, (5): 25—31.

全国褐飞虱科研协作组, 1980. 我国褐稻虱的发生动态及预测预报. 中国农业科学, 13(3): 58—64.

四川省秀山县植保站, 1989. 白背飞虱种群发展与生态研究初报. 病虫测报, 9 (增刊): 31—34.

汤金仪, 胡伯海, 王建强, 1996. 我国水稻迁飞性害虫猖撅成因及治理对策建议. 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.

汪远昆, 2003. 白背飞虱(*Sogatella furcifera*)的迁飞生物学和田间种群动态. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学.

汪远昆, 罗举, 翟保平, 2011. 白背飞虱的迁飞生物学: 江苏苏州个例分析. 应用昆虫学报, 48(5): 1213—1221.

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.

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.

赵伟春, 娄永根, 程家安, 祝增荣, 2001. 褐飞虱、白背飞虱的种内和种间效应. 生态学报, 21(4): 629—631.

周强, 张润杰, 古德祥, 2000. 褐飞虱与白背飞虱自然种群空间关系. 中山大学学报 (自然科学版), 39(2): 72—77.

祝增荣, 1999. 亚热带水稻白背飞虱种群生态学和治理策略的研究. 博士学位论文. 南京: 南京农业大学.

祝增荣, 程家安, 黄次伟, 冯炳灿, 陈琇, 1994. 白背飞虱种群动态的模拟研究. 生态学报, 14 (2): 188—195.