素如环境温度、施肥水平等通过影响介体本身 – SRBSDV – 寄主植物的代谢速度和生长发育状况来影响白背飞虱传毒特性。

3.2 白背飞虱的传毒特性在南方水稻黑条矮缩病防治上的利用

白背飞虱的传毒特性与该虫的传毒效率密切相关。本研究结果表明 SRBSDV 不能经卵传毒，尽管该虫的获毒能力较强，如初孵若虫最短获毒时间分别 11 min（表 1），但初孵若虫的最短循回期长达 11 d（表 2）。因此，即使初孵若虫成功获毒，SRBSDV 需经一段时间才能在其体内完成循回期后，此时才具备传毒能力。可见，在防治上应尽量清除田间 SRBSDV 寄主植物，减少白背飞虱的获毒机会。同时，将白背飞虱杀死在 3 龄期以前，可有效减少该病毒病的田间感染率。此外，从稻苗接毒取食时间来看（表 3），水稻生育期越早，接毒取食时间越短。这暗示水稻在秧苗期易感染 SRBSDV。因此，对于该病的防治，在秧田期和移栽初期应重点防治飞虱。

参考文献（References）

包云轩，徐希燕，王建强，王翠花，缪启龙，翟保平，2007. 白背飞虱重大迁入过程的大气动力背景. 生态学报，27(11)：4527—4535.

陈卓，刘家驹，宋宝安，郭荣，钟玲，邱高辉，范会涛，李向阳，2010. 2010 年南方水稻黑条矮缩病应急防控试验探究. 贵州大学学报（自然科学版），27(5)：38—41.

冯炳灿，黄次伟，王焕弟，姚静，宋丽君，1985. 温度对白背飞虱种群增长的影响. 昆虫学报，28(4)：390—397.

郭荣，周国辉，张曙光，2010. 水稻南方黑条矮缩病发生规律及防控对策初探. 中国植保导刊，30(8)：17—19.

Ha VC, Nguyen VH, Vu TM, Masaru M, 2009. Rice dwarf disease in north Vietnam in 2009 is caused by southern rice black-streaked dwarf virus (SRBSDV). *Bull. Inst. Trop. Agr.*, *Kyushu Univ.*, 32: 85—92.

刘万才，刘宇，郭荣，2010. 南方水稻黑条矮缩病发生现状及防控对策. 中国植保导刊，30(3)：17—18.

刘向东，张孝羲，翟保平，2005. 蚜虫寄主专化型及其成因. 昆虫学报，47(4)：499—506.

苗进，武予清，郁振兴，段云，蒋月丽，李国平，2011. 基于 EPG 的麦长管蚜、麦二叉蚜和禾谷缢管蚜取食行为比较. 生态学报，31(1)：175—182.

沈君辉，尚金梅，刘光杰，2003. 中国的白背飞虱研究概况. 中国水稻科学，17(S1)：7—22.

汪远坤，翟保平，2004. 白背飞虱的再迁飞能力. 生态学报，47(4)：467—473.

许志刚主编，2008. 普通植物病理学. 北京：中国农业出版社. 178—215.

叶正襄，秦厚国，李华，1994. 温度、食料条件对白背飞虱种群增长的影响. 植物保护学报，21(3)：209—213.

翟保平，周国辉，陶小荣，陈晓，沈慧梅，2011. 稻飞虱暴发与南方水稻黑条矮缩病流行的宏观规律和微观机制. 应用昆虫学报，48(3)：480—487.

Zhang HM, Yang J, Chen JP, Adams MJ, 2008. A black-streaked dwarf disease on rice in China is caused by a novel *Fijivirus*. *Archives of Virology*, 153: 1893—1898.

张松柏，彭兆普，刘勇，张德咏，成飞雪，罗源华，马明勇，2010. 2009 年湖南省南方水稻黑条矮缩病暴发原因初步分析. 植物保护，36(6)：121—124.

《植物病毒鉴定》编写组，1980. 植物病毒鉴定. 北京：中国农业出版社. 38—42.

Zhou GH, Wen JJ, Cai DJ, LI P, Xu DL, Zhang SG, 2008. Southern rice black-streaked dwarf virus: A new proposed *Fijivirus* species in the family Reoviridae. *Chinese Science Bulletin*, 53(23)：3677—3685.

周倩，朱俊子，梁晋刚，陈欣怡，高必达，2010. 南方水稻黑条矮缩病毒快速检测. 基因组学与应用生物学，2010，29(5)：1009—1012.

应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2011,48(5):1321—1334

江西上犹2009、2010年南方水稻黑条矮缩病的毒源地分析*

赵 悦** 张孝羲 翟保平***

(南京农业大学昆虫学系 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 通过灯下诱虫情况调查、毒源地分析、轨迹模拟、ArcGIS技术以及天气学背景分析,阐释了2009、2010年江西省上犹县发现的南方水稻黑条矮缩病(SRBSDV)的供毒源地情况,以及白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth)携毒的传递路径。结果显示:(1)通过对白背飞虱迁入上犹的虫源地与经鉴定的南方水稻黑条矮缩病发病区域的叠加分析,明确了传入上犹的毒源地分布于广东、广西、海南3省区境内。(2)西南低空急流及偏南气流是白背飞虱将我国南方的病毒远距离传送到上犹县境内的动力源。(3)白背飞虱随下沉气流和降雨在上犹境内的集中降落是SRBSDV在当地暴发的触发条件。

关键词 南方水稻黑条矮缩病,白背飞虱,迁飞轨迹,毒源区

Identifying the source regions of *Southern rice black-streaked dwarf virus* transmitted by *Sogatella furcifera* (Horváth) in Shangyou, Jiangxi Province

ZHAO Yue** 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 source regions of the *Southern rice black-streaked dwarf virus* (SRBSDV) transmitted by its vector, the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Horváth) (WBPH), were analyzed in Shangyou, Jiangxi in 2009 and 2010. Coincidence in the migratory pathways of WBPH and virus source regions were identified through light trap catches, identification of areas affected by the virus, migration trajectory analysis, synoptic weather and ArcGIS tech. The results indicate that: (1) The source areas of the virus in Shangyou were mainly in Guangdong, Guangxi, and Hainan Provinces. (2) Riding on the prevailing southwest or south wind, WBPH transmitted this virus from southern China to Shangyou. (3) The immigration of concentrated airborne WBPH under climatic conditions of downdraft and rainfall triggered the epidemic outbreak of SRBSDV in Shangyou in 2009 and 2010.

Key words *Southern rice black-streaked dwarf virus*, *Sogatella furcifera*, migration trajectory, source regions of virus

南方水稻黑条矮缩病毒(*Southern rice black-streaked dwarf virus*, SRBSDV)属呼肠孤病毒科(Reoviridae)斐济病毒属(*Fijivirus*)。2001年在广东阳西首次发现,是近年来在越南北部和我国南方稻区危害严重的一种新型病毒(Zhang *et al.*, 2008;周国辉等,2008; Wang *et al.*, 2010)。当带毒的白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth)(WBPH)使健康水稻感染病毒后,病毒就会为害水稻生长点,使水稻立即停止生长。水稻各生育期均可感染该病,但主要染病时期为秧苗期,染病后的共同症状表现为植株矮缩、叶色浓绿且基部有皱褶、叶背及茎秆出现条状乳白色或深褐色小

* 资助项目:国家"973"项目(2010CB126200)、农业公益性行业科研专项(200903051)、国家水稻产业技术体系建设专项(nycytx-001)

** E-mail: 2008102113@njau.edu.cn

*** 通讯作者,E-mail: bpzhai@njau.edu.cn

收稿日期:2011-04-18,接受日期:2011-07-05

突起、高位分蘖及茎节部倒生气生须根，秧苗期感病的稻株严重矮缩（不及正常株高 1/3），不能拔节，重病株早枯死亡；大田初期感病的稻株明显矮缩（约为正常株高 1/2），不抽穗或仅抽包颈穗，大面积感染后可达颗粒无收的严重程度。通过田间调查及室内传毒实验发现，白背飞虱 *Sogatella furcifera*（Horváth）是 SRBSDV 的主要传递媒介，且一旦获毒可终身带毒，其若虫和成虫均可传毒（周国辉等，2008）。

该病害从 2001 年被发现到 2008 年间，主要在华南局部地区零星为害（周国辉等，2010）。但在 2009 年春，越南义安省水稻上 SRBSDV 突然大面积流行。随着白背飞虱的向北迁飞，SRBSDV 扩散到越南北方 19 个省，造成 4.2 万 hm^2 水稻受害，部分田块失收。越南北方病区的白背飞虱进一步北迁，SRBSDV 在我国的广东、广西、海南、福建、江西、湖南、湖北、浙江、安徽 9 省区也普遍发生，全国发生面积约 40 万 hm^2，基本失收面积 0.67 万 hm^2。越南有关专家认为，义安省的 SRBSDV 毒源来自我国海南省，海南南部稻区为白背飞虱终年繁殖区，同时也是 SRBSDV 的发生地之一，当地携毒白背飞虱被台风席卷到义安而使得 SRBSDV 流行并增殖扩散至我国东部稻区①。我国发病稻区的白背飞虱秋季南迁，又将更多的携毒个体送返越南境内，致使 2010 年 SRBSDV 在越南北部和中部稻区 29 个省大流行（6 万多公顷水稻受害，许多田块失收），进而又在我国南方 13 个省超过 130 万 hm^2 水稻上大暴发。而截止到 2011 年 3 月上旬，海南约 5 万 hm^2（周国辉，未发表资料）、越南 38 个省（Vien，私人通讯）冬春稻见病；据测，2011 年该病害将对我国南方稻区超过 200 万 hm^2 水稻构成威胁（全国农业技术推广服务中心植物病虫情报 2011 年第 3 期）。

目前，我国尚未发现明显抗病的水稻主栽品种，而杂交籼稻又极易受到白背飞虱的危害，我国和东南亚北部稻区田间已积累大量毒源，传毒媒介白背飞虱在我国各稻区大范围发生且南北往返迁飞周年循环，使得我国和越南北部及中部稻区互为虫源毒源并不断累积，SRBSDV 在我国大范围流行且逐年加重的风险极大。显然，厘清我国各稻区白背飞虱和 SRBSDV 的虫源毒源关系，是开展 SRBSDV 联防联控的基本前提。

为此，本文以江西上犹为个例，应用轨迹分析平台 HYSPLIT 分析 2009，2010 年该县白背飞虱迁入始期至晚稻秧苗期（6 月初至 7 月末）的迁飞轨迹，明确虫源地和毒源地的可能分布范围，以期揭示 SRBSDV 流行的宏观规律，为 SRBSDV 的防控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 虫情及气象资料

虫情资料：江西省植保站提供的上犹 2009，2010 年白背飞虱灯诱资料（http://zhibao.jxagri.gov.cn）。

病情资料：2009、2010 年南方黑条矮缩病发病区域的资料由江苏省农科院植保所周益军研究员和华南农业大学周国辉教授提供。据此应用 GIS 技术制成全国发病区域图（图 2，5）。

气象资料：美国环境预报中心（NCEP）和国家大气研究中心（NCAR）的全球再分析数据（全球 6 h 1 次，1°×1°，26 个高度层，GRIB 格式）。国家气象局共享数据网提供精度为 0.25°的全国每 24 h 降水分布图。

地图资料：中国省级行政区图（1∶4 000 000）从国家基础地理信息中心（http://nsdi.gov.cn）下载。

1.2 分析方法

采用美国国家海洋和大气管理局 NOAA（http://www.arl.noaa.gov）开发的 HYSPLIT 轨迹分析平台和我们通过数值试验确定的白背飞虱迁飞模拟生物学参数（赵悦等，2011）进行白背飞虱迁飞路径的轨迹分析。通过该平台计算不同高度上白背飞虱的运动轨迹，生成图形文件得到各迹点的地理坐标（经纬度）并经 Visual Foxpro 转换成属性数据库，再在 ArcGIS 中与发病区域分布图叠加，显示 SRBSDV 的可能毒源地分布范围。

① Ngo Vinh Vien, 2009. The occurrence of new rice virus disease in Northern Vietnam. International Workshop on RICE VIRUS AND VECTOR INSECTS. HANOI-VIETNAM, 28 November, 2009. Workshop Report.

在轨迹分析时假定:(1)白背飞虱是顺风迁移的(陈若篪和程遐年,1980;邓望喜等,1981);(2)白背飞虱在日出前或日落后 1 h 内起飞(邓望喜,1981;陈若篪等,1984);(3)白背飞虱在春夏季北迁高度在 850 hPa 等压面上(邓望喜等,1981;Riley *et al.*,1991,1994;封传红等,2002,2003)。

回推轨迹模拟中各生物学参数的设定:(1)根据迁入期不同高度层的温度选择距地面 1 000、1 500、2 000 m 为回推轨迹的起始高度;(2)回推轨迹以降虫区为起点,以降虫区诱虫灯自傍晚亮起至凌晨熄灭的各整点时刻为降虫时刻(即降虫区傍晚 19:00 至次日凌晨 06:00),即回推轨迹的起始时刻,降落日期即灯诱峰期,回推轨迹中各起始时刻的间隔时间为 2 h;(3)轨迹分析的最长续航时间按照傍晚起飞型和凌晨起飞型分为 30 h 和 25 h(Rosenberg and Magor,1983,1987)。

有效轨迹判定依据:回推轨迹的落点时刻均为当地稻飞虱的起飞时间,即虫源地的傍晚 19:00 和凌晨 5:00(翟保平和张孝羲,1993;翟保平,2004);虫源地(轨迹落点)为水稻种植区,且客观上存在迁出虫源。

虫汇区白背飞虱传毒主要时期的判定依据:(1)虫汇区的白背飞虱灯诱虫量出现峰期;(2)轨迹模拟所得的虫源地确为 SRBSDV 发病稻区,且当地存在白背飞虱迁出虫群;(3)携毒白背飞虱进入虫汇区期间,当地确有生育期在秧苗期至分蘖期的水稻。

天气学背景分析的气象资料为美国环境预报中心(NCEP)和国家大气研究中心(NCAC)的全球再分析数据(水平分辨率 1°×1°,时间间隔 6 h)中 850 hPa 高空的水平气流、垂直速度等变量数据,结合相应时间段对迁入过程的天气背景进行分析。

2　结果与分析

回推轨迹分析结果表明,广东、广西和海南 3 稻区均可为上犹县提供白背飞虱虫源(表 1,2),而这 3 省区都在 2009、2010 年全国 SRBSDV 发病区域范围之内。

2.1　上犹县 2009、2010 年白背飞虱灯诱情况调查

上犹县 2009 年 4 月底至 5 月初灯下已有零星上灯虫量,此后,从 5 月中旬至 6 月末,共出现 3 个迁入峰段,即 5 月中旬(5 月 9—11 日、5 月 14—17 日),5 月末至 6 月初(5 月 26 日—6 月 2 日),6 月上中旬(6 月 6—11 日),6 月下旬以后,当地白背飞虱灯下虫量锐减且持续为 0(图 1)。

2010 年,上犹县 5 月中旬始见灯下白背飞虱,5 月 16 日上灯虫量为 3 头,白背飞虱始迁入时间较 2009 年略晚。白背飞虱迁入峰段共有 4 个,即 5 月下旬(5 月 26—29 日),6 月上旬(6 月 7—9 日),6 月中旬(6 月 11—20 日),6 月末至 7 月初(6 月 27 日—7 月 2 日)。7 月中旬以后,当地白背飞虱灯下虫量全部为 0。2010 年与 2009 年相比,白背飞虱始见期略晚,但发生时间基本持平(图 1)。

2009、2010 年上犹县均有 SRBSDV 的发病记录。该病毒只能通过白背飞虱成虫和若虫取食传毒且主要侵染早期水稻,秧苗期感病的水稻症状明显且受害严重。5 月中旬,上犹县早稻已进入分蘖拔节期,单季稻尚处在育秧期,故此时当地单季

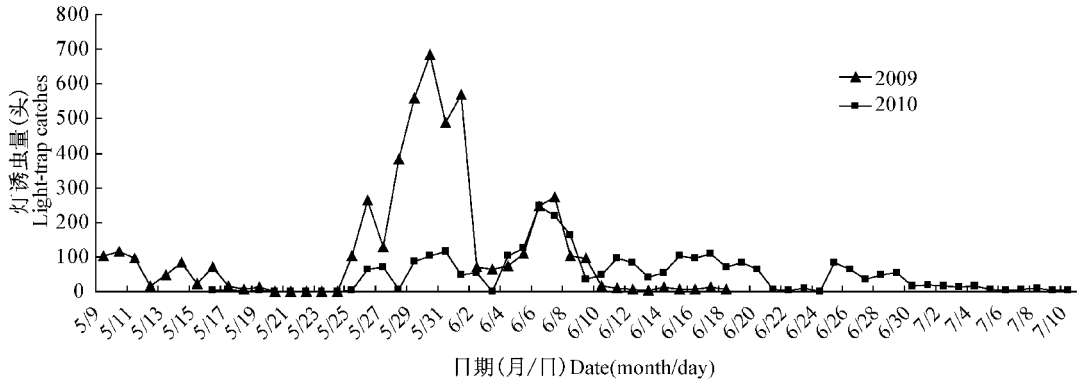

图 1　上犹县 2009 和 2010 年白背飞虱灯下虫量

Fig. 1　Light-trap catches of WBPH in Shangyou in 2009 and 2010

稻受 SRBSDV 的影响要重于双季早稻。6 月中旬，早稻已到达抽穗灌浆期，双季晚稻也到达育秧期，故而此时迁入的白背飞虱对双季晚稻的危害较大，水稻受害症状也相对明显。7 月中旬以后，双季早稻收割，双季晚稻也已移栽到本田，而灯下白背飞虱虫量极少，故此期水稻的受害记录应为本地繁殖的白背飞虱近距离迁移扩散传毒的结果。

2.2 2009 年白背飞虱各迁入峰期的毒源地分布

5 月中旬：上犹县位于江西南部，5 月中下旬和 6 月上旬是白背飞虱大量迁入期，经回推轨迹分析，广东南部稻区和广西的东南部稻区均可为上犹县提供白背飞虱迁入虫源，但发病区与虫源区的叠加结果显示，仅有广东南部稻区可提供携毒白背飞虱（图 2：a，b），且白背飞虱的迁出与水稻生育期关系不大，5 月中旬广东南部已有子代白背飞虱迁出，故而可以为上犹县提供 SRBSDV 携毒虫源。

5 月中旬，东北冷涡东移、高空槽后西北气流引导低层切变线和地面冷空气南下，在我国南方，随着副高气压的北抬西升，西南暖湿气流也不断加强（图 3：a，b），进而促使毒源地的白背飞虱顺风北上，直至上犹县附近，5 月 11 日 08：00 上犹县上空 850 hPa 高度上 0.2 ~ 0.3 Pa/s 的下沉气流促使虫群集中降落。

5 月 13—14 日，冷暖气流在江西南岭稻区一带交汇，并形成持续性的强降水过程，这一降水过程的出现，阻碍了广东境内的白背飞虱迁出（图 4：d），此后直至 16 日，广东省内均未出现降水现象，因而形成 5 月 14—17 日广东南部稻区白背飞虱集中迁出的现象，但是，由于该时段内并没有明显有利于白背飞虱集中降落的天气条件，仅在 5 月 15 日 08：00 上犹县 850 hPa 的高空上出现 0.1 ~ 0.2 Pa/s 的下沉气流（图 4：b），因此，此时段内迁飞到上犹县上空的白背飞虱应为主动降落为主，且 5 月中旬为携毒白背飞虱进入上犹县的次要峰段。

5 月末至 6 月初：本时段内，上犹县白背飞虱迁入量达到 2009 年最高，仅 6 月 1 日灯诱虫量就高达 568 头（图 1）。回推轨迹与发病区域叠加图显示，广东南部和海南部分稻区为上犹县的 SRBSDV 供毒源地（图 2：c，d）。850 hPa 高度上盛行的偏南风转西南低空急流是毒源地迁出虫群的主要运载气流（图 3：c，d），上犹县及其以北地区的持续性强降水过程（图 4：e，f），阻碍了白背飞虱的进一步北迁，白背飞虱由于自身飞行能力的限制，携毒集中降落的雨带的西南缘，且 5 月末至 6 月初，上犹县的双季早稻已由分蘖逐渐演变为拔节期，单季中晚稻尚在育秧，恰为感染 SRBSDV 的关键时期，因此，本时段为 2009 上犹县水稻感染 SRBSDV 的最关键时期。

6 月上中旬：两广南部稻区为本时段内上犹县 SRBSDV 的供毒源地（图 2：e，f）。850 hPa 高度上强烈的西南低空急流仍为本时段内携毒白背飞虱北迁的主要运输通道（图 3：e），但是，6 月 9 日以后，风速急降至 5 ~ 8 m/s，这部分导致了 6 月 10 日和 6 月 11 日上犹县白背飞虱灯诱虫量的骤减（图 3：f）。但本时段内无明显有利的天气条件促使白背飞虱集中降落，仅在 6 月 8 日出现 0.2 Pa/s 的下沉气流（图 4：c），且此时迁入的白背飞虱已大大少于上一峰段，灯诱数据显示最高单日诱虫量仅为 6 月 7 日的 272 头（图 1），因而本时段内从有效毒源地迁入的白背飞虱仅为主动零散降落，且为次要传毒时段。

2.3 2010 年白背飞虱各迁入时段的毒源地分布

2010 年 SRBSDV 的发病面积明显大于 2009 年，发生程度也相对较重。

5 月下旬：回推轨迹显示，有效落点在广东中东部、广西东部和福建南部稻区，但是，5 月中下旬是福建南部稻区白背飞虱的始迁入时期，不可能为上犹县提供白背飞虱虫源，经叠加分析有效的虫源地应在广东中东部和广西东部部分稻区，其中，广东中东部为主要的供毒源地（图 5：a，表 2）。

5 月下旬，亚洲中高纬度环流为经向型，乌拉尔山地区仍然为阻高控制且在西退，贝加尔湖及以西地区为低值区，中国东北地区为弱脊控制，中国中东部地区为东高西低形势。5 月 24 日开始西伯利亚地区为庞大低涡控制，低涡位置少动，其南侧锋区北收，影响我国冷空气势力减弱。中纬度亚洲为两槽一脊，环流逐渐演变为东高西低形势，新疆西部小槽东移加深，槽前脊受其东部低涡阻挡移动缓慢。孟加拉湾槽也逐渐加深，有利于水汽向我国西南、西北地区输送，8 ~ 10 m/s 的偏南风促使毒源地的白背飞虱北迁到达上犹县附近（图 6：a），同时，受低层加强的偏南气流与弱

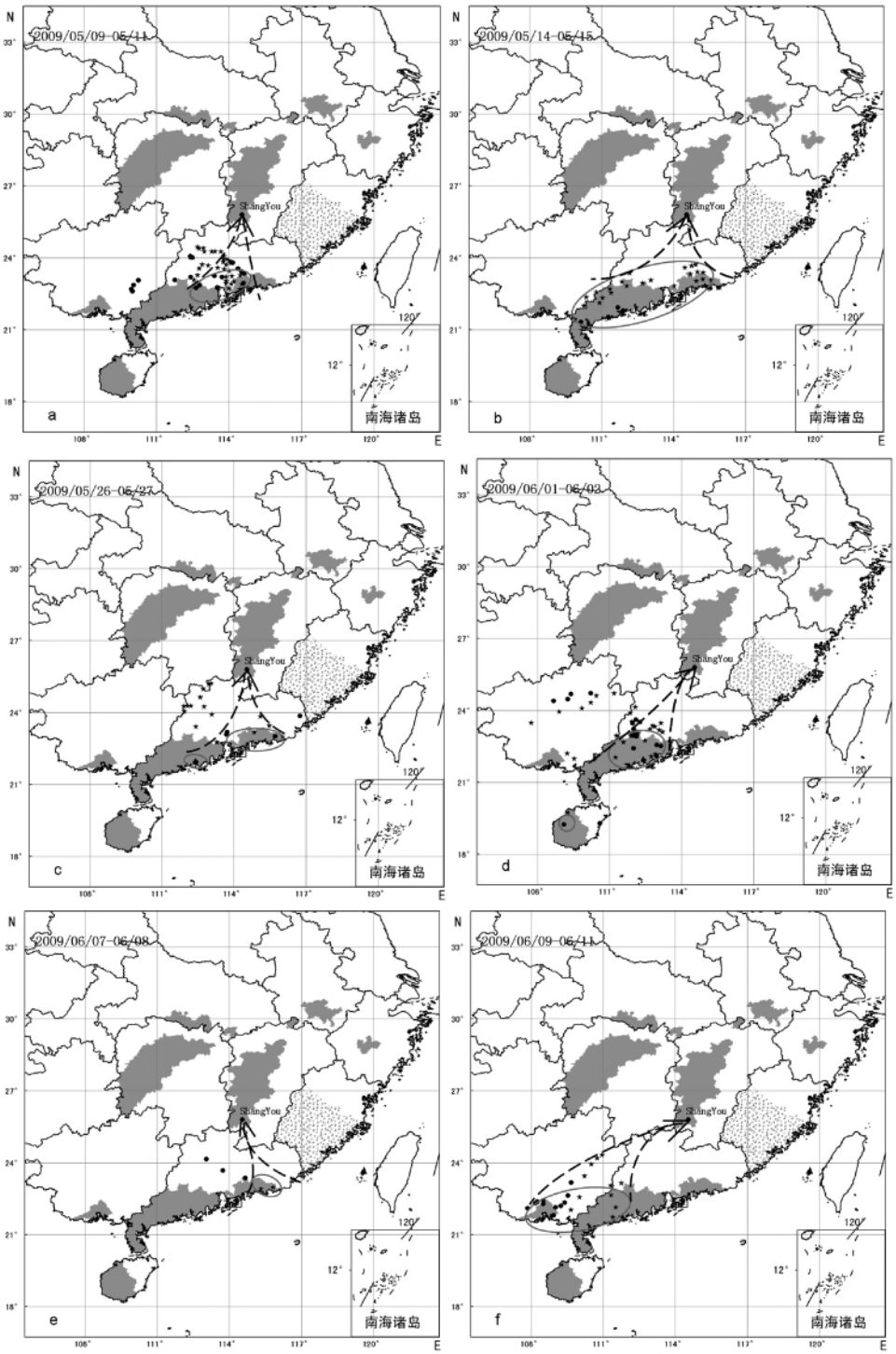

图 2　2009 年白背飞虱可能虫源地区域与发病地区的叠加

Fig. 2　Overlapping the virus infected area and the possible source regions of WBPH through backward trajectory simulation on 2009

★为 05:00 起飞; ●为 19:00 起飞的白背飞虱虫源地分布区域。其中圈起的区域为各时段可能的毒源地范围。阴影区域示 2009 年有具体发病资料的地区,虚点区域表示有 SRBSDV 发病资料,但尚不知具体发病地点的地区。下图同。

The star ★ show the source regions where WBPH take-off at dawn, and the dot ● illustrate the source regions where WBPH take-off at dusk. The circled area shows the possible virus source regions during different immigration periods. The shadowed regions are the definite location with SRBSDV data, and the virtual point region represents the area with SRBSDV data, but no specific places. The same below.

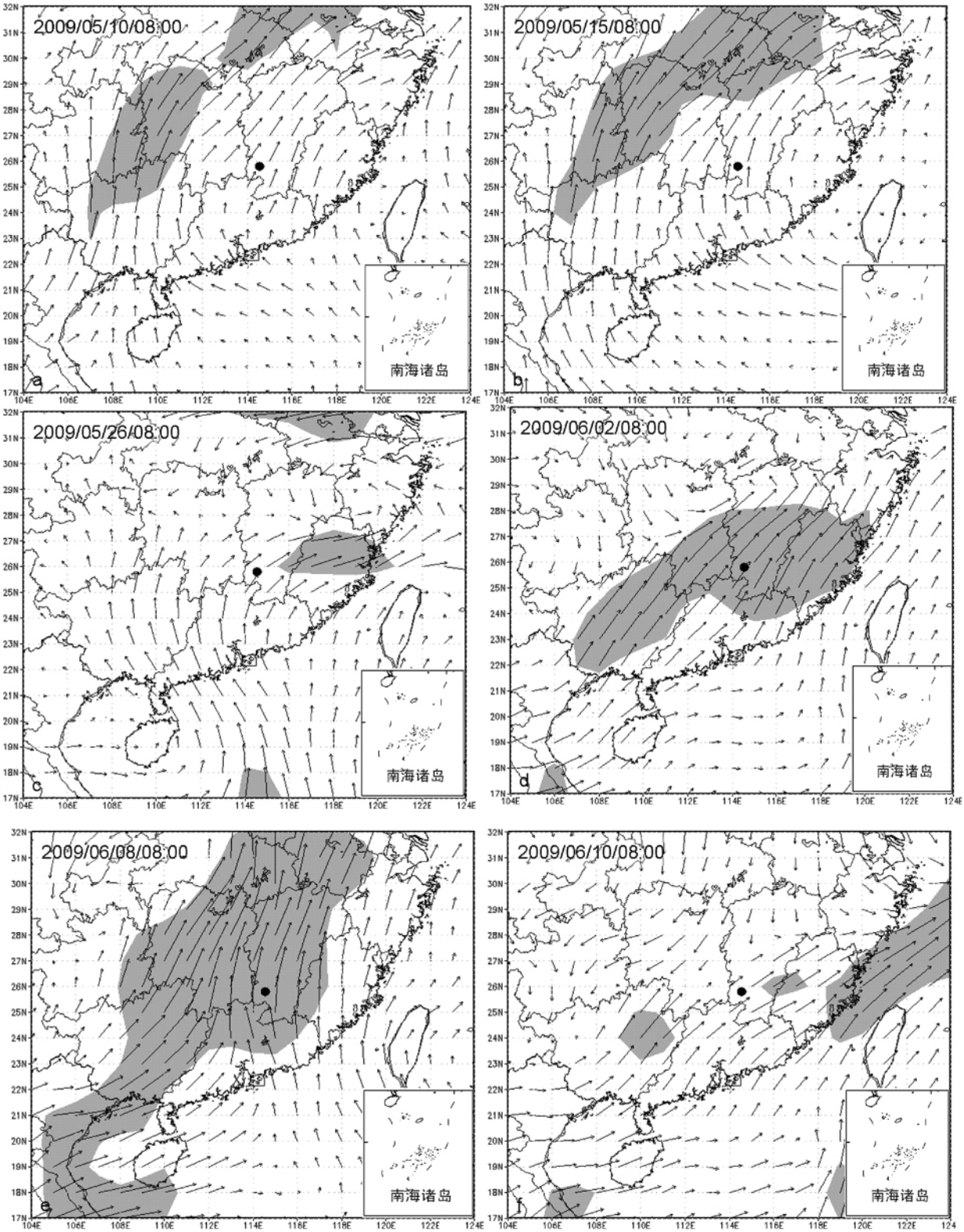

图 3　2009 年上犹县迁入峰期 08:00 850 hPa 上的水平风场/(m/s)

Fig. 3　Horizontal wind field/(m/s) on 850 hPa at 08:00 (BJT) during the immigration peaks in Shangyou, 2009

阴影部分为风速大于 12 m/s(**低空急流盛行**)**的区域。黑点表示上犹县。下图同。**

The shadowed areas are the distribution of low level jet (wind speeds greater than 12m/s).

The black spot is Shangyou. The same below.

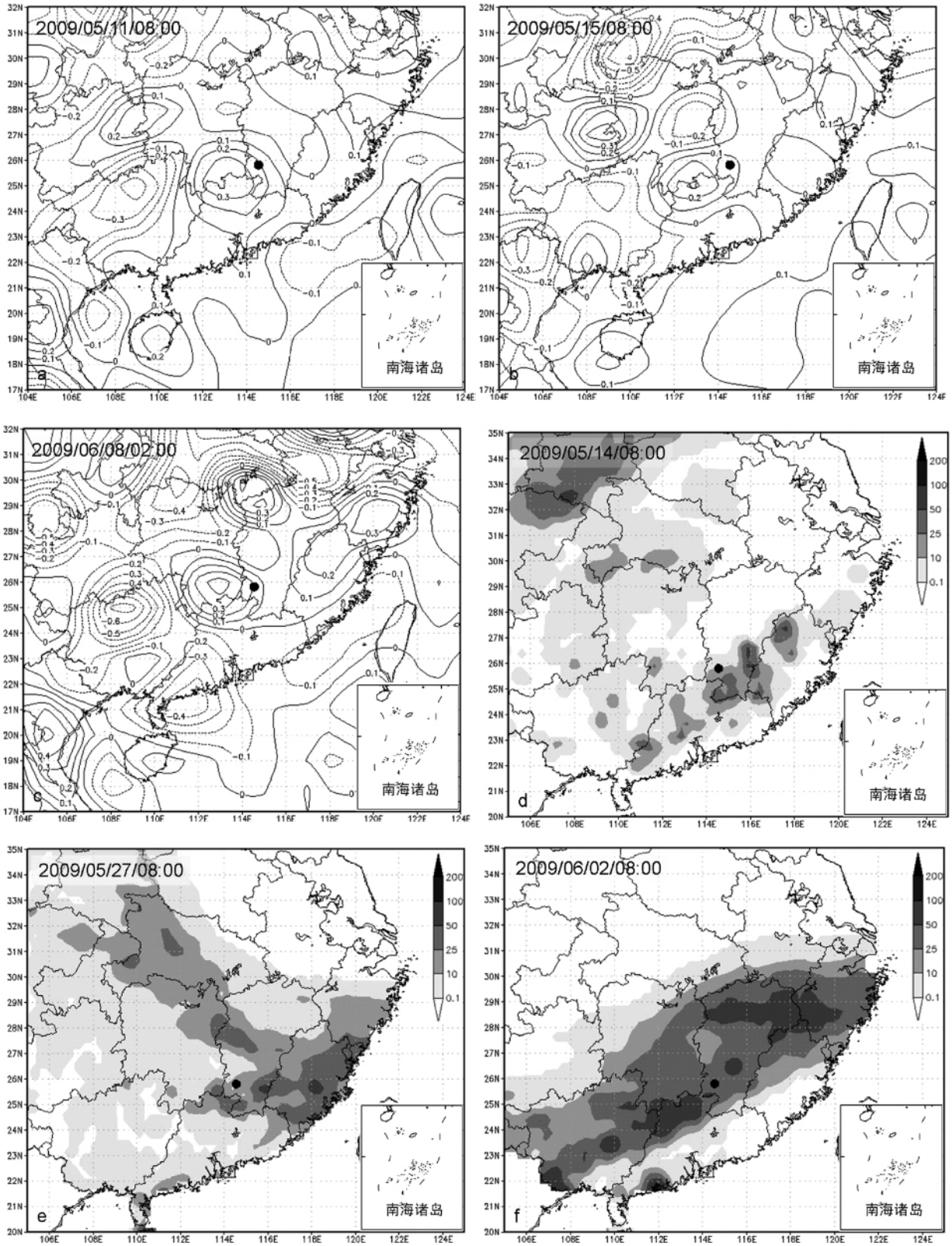

图 4　2009 年上犹县各迁入峰段地面降水分布(mm/d)及 850 hPa 高度上的垂直速度/(Pa/s)

Fig. 4　Surface rainfall distribution (mm/d) and vertical velocity (Pa/s) on 850 hPa during the immigration peaks in Shangyou, 2009

冷空气的共同影响，上犹县上空出现持续的强降水过程(图 7: c)，促使携毒白背飞虱集中降落。但是，本时段内上犹县白背飞虱灯诱虫量最高灯诱虫量仅为 5 月 27 日的 72 头，所以 5 月下旬仅为当地水稻感染 SRBSDV 的次要峰段。

6 月上旬：可能的虫源地分布于广东西部、广西东部和海南部分稻区，且发病区域与虫源地完全吻合(图 5: b)，广东省供毒的概率为 3 稻区之最(表 2)。这一时期，我国北方的冷空气势力弱，极地的冷空气被高压坝阻挡，东北地区出现了高温天气，而我国低纬度地区多波动，有利于江南华南等地的持续性降雨天气，副热带高压脊线位于 10°N 附近，西脊点位于 10°E 附近，有利于水汽向华南地区输送。850 hPa 高度上持续的西南低空急流为广东、广西、海南迁出的携毒白背飞虱提供了运输通道(图 6: b)，随后，6 月 9 日，我国华南至江南稻区的持续性强降水过程，既有利于进入上犹县境内的白背飞虱集中降落，也抑制了当日白背飞虱的迁出行为，这部分造成了本时段内上犹县白背飞虱上灯虫量初始多，后续少的现象(图 7: d)。

6 月中旬：6 月 11 至 20 日是 2010 年上犹县白背飞虱迁入各峰段中历时最长的一个时段，本时段的迁入特点为各迁入日白背飞虱灯诱虫量波动不大，但迁入数量均在数十甚至上百头。此外，上犹县此时单季稻已到分蘖拔节期，双季晚稻也陆续开始播种育秧。

表 1 2009 年上犹县回推轨迹分析得到的白背飞虱虫源地的可能范围及其概率分布

Table 1 The possible source regions of WBPH and its distribution probability from backward trajectory analysis in Shangyou, 2009

时段(月/日) Date (month/day)	主气流型 Main airflow	起飞时间 Departure time	区域 Region	虫源地分布概率 Distribution Probability (%)
05/09 – 05/11	偏南气流型 Southerly	19:00	粤中南 Middle-south Guangdong	80.0
			桂东南 Southeast Guangxi	20.0
		05:00	粤中南 Middle-south Guangdong	100.0
05/14 – 05/15	偏南气流型 Southerly	19:00	粤西南 Southwest Guangdong	100.0
		05:00	粤南 Southern Guangdong	90.5
			桂东南 Southeast Guangxi	9.5
05/16 – 05/19	西南气流型 Southwest	19:00	粤南 Southern Guangdong	50.0
			琼东 Eastern Hainan	50.0
		05:00	粤南 Southern Guangdong	26.1
			桂东南 Southeast Guangxi	73.9
05/26 – 05/27	偏南气流型 Southerly	19:00	粤南 Southern Guangdong	100.0
		05:00	粤中南 Middle-south Guangdong	100.0
06/01 – 06/02	西南气流型 Southwest	19:00	粤西南 Southwest Guangdong	66.7
			桂北 Northern Guangxi	26.7
			琼西 Western Hainan	6.6
		05:00	粤西南 Southwest Guangdong	68.0
			广西 Guangxi	32.0
06/07 – 06/08	西南气流型 Southwest	19:00	粤中南 Middle-south Guangdong	100.0
		05:00	粤南 Southern Guangdong	100.0
06/09 – 06/11	西南气流型 Southwest	19:00	桂南 Southern Guangxi	100.0
		05:00	粤西南 Southwest Guangdong	36.4
			广西 Guangxi	63.6
06/16 – 06/18	偏南气流型 Southerly	19:00	粤中北 Middle-north Guangdong	100.0
		05:00	粤中北 Middle-north Guangdong	100.0

表 2　2010 年上犹县回推轨迹分析得到的白背飞虱虫源地的可能范围及其概率分布

Table 2　The possible source regions of WBPH and its distribution probability from backward trajectory analysis in Shangyou, 2010

时段(月/日) Date (month/day)	主气流型 Main airflow	起飞时间 Departure time	区域 Region	虫源地分布概率 Distribution Probability (%)
05/16 – 05/20	西南气流型 Southwest	19:00	粤南 Southern Guangdong	100.0
		05:00	粤西南 Southwest Guangdong	59.4
			桂东南 Southeast Guangxi	40.6
05/26 – 05/29	偏南气流型 Southerly	19:00	粤中南 Middle – south Guangdong	100.0
		05:00	粤中南 Middle – south Guangdong	86.7
			广西 Guangxi	13.3
06/07 – 06/09	西南气流型 Southwest	19:00	广东 Guangdong	42.9
			桂东南 Southeast Guangxi	28.5
			琼中 Middle Hainan	28.6
		05:00	粤中南 Middle – south Guangdong	92.3
			桂东南 Southeast Guangxi	7.7
06/11 – 06/20	西南气流型 Southwest	19:00	湘南 Southern Hunan	5.1
			粤西 Western Guangdong	45.5
			广西 Guangxi	35.8
			海南 Hainan	13.6
		05:00	湘南 Southern Hunan	7.8
			粤西 Western Guangdong	20.5
			广西 Guangxi	62.2
			海南 Hainan	9.5
06/22 – 06/23	西南气流型 Southwest	19:00	粤西 Western Guangdong	42.9
			桂东南 Southeast Guangxi	57.1
		05:00	粤西 Western Guangdong	36.7
			桂东南 Southeast Guangxi	63.3
06/27 – 06/29	偏南气流型 Southerly	19:00	粤西南 Southwest Guangdong	25.0
			琼北 Northern Hainan	75.0
		05:00	广东 Guangdong	57.1
			桂东南 Southeast Guangxi	42.8
07/01 – 07/02	西南气流型 Southwest	19:00	粤北 Northern Guangdong	22.2
			粤西南 Southwest Guangdong	77.8
		05:00	粤西南 Southwest Guangdong	34.5
			桂东南 Southern Guangxi	65.5
07/05 – 07/10	偏南气流型 Southerly	19:00	粤北 Northern Guangdong	6.7
			粤西南 Southwest Guangdong	13.3
			广西 Guangxi	80.0
		05:00	粤西南 Southwest Guangdong	22.0
			广西 Guangxi	78.0

回推轨迹显示,广东西部、广西和海南大部分稻区均可为上犹县提供白背飞虱虫源,其中,广西为主要的虫源地(表 2)。将发病区域和虫源地相叠加可以看出,虫源地即为可能的供毒源地(图 5:c)。

本时段内,我国中高纬度为一槽一脊型,脊区位于新疆北部地区,槽区位于我国东部地区,呈西高东低的形势。低纬度地区多短波槽活动,有利于引导西南涡的东移。在高空槽和西南涡东移的影响下,西南低空急流加强北上,850 hPa 的风速达到 12 ~ 14 m/s(图 6:c),本时段内的毒源地,如

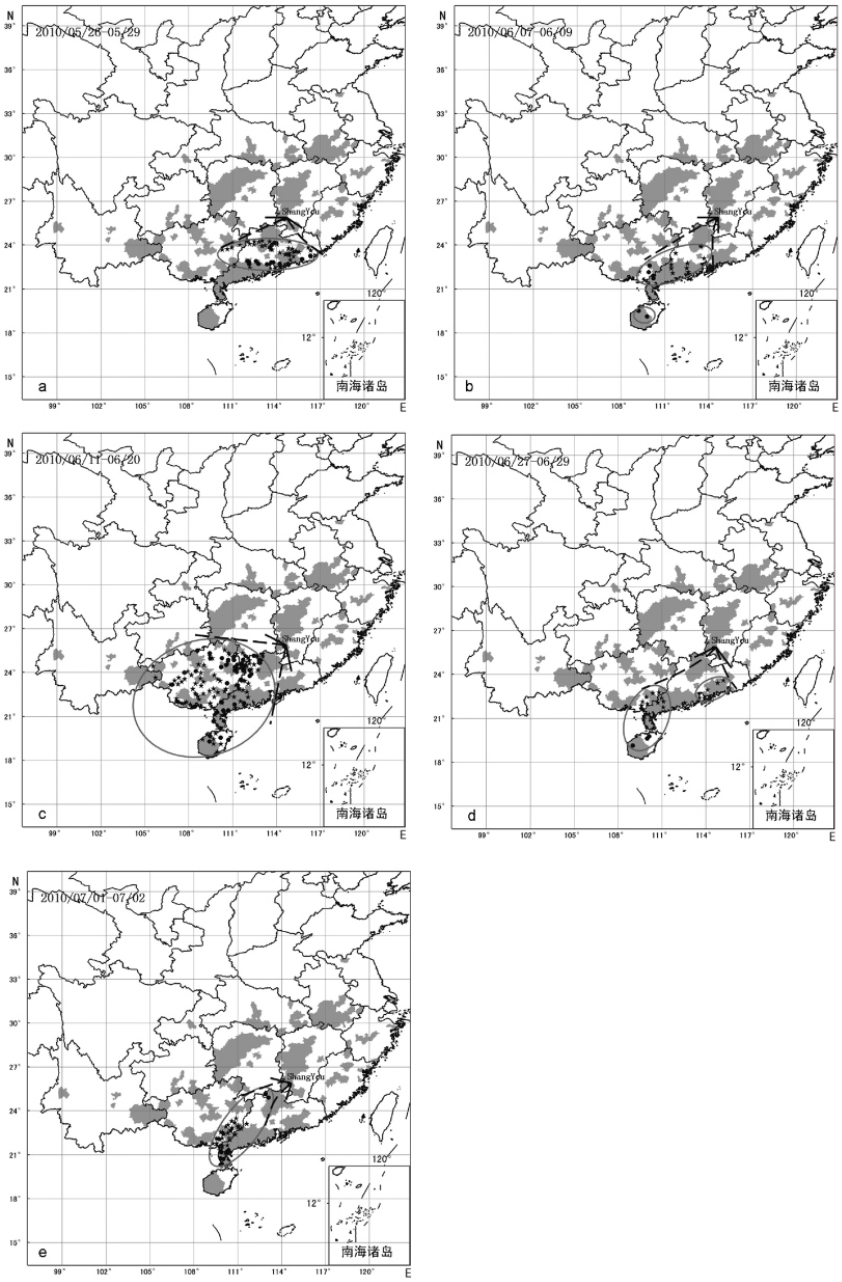

图 5　2010 年白背飞虱可能虫源地区域与发病地区的叠加

Fig. 5　Overlapping the virus infected area and the possible source regions of WBPH through backward trajectory simulations on 2010

广东的阳江市、湛江市、汕尾市等地，广西的崇左县、全州县、兴安县等地，以及海南的海口、昌江、三亚等地的 SRBSDV 随迁出的白背飞虱顺风北上到达江西南部稻区。与此同时，副热带高压脊线大致位于 18°N，其北界位于 22°N 附近，副高北侧冷暖空气交汇，西南涡进一步东移，中心位于贵州北部，切变线仍维持，西南低空急流加大，同时北方的冷空气有所加强，19 日 20:00，西南暖湿气流维持强劲，北方冷空气南下，冷暖空气交汇剧烈，低涡东移至湖南偏东地区，切变线转为冷式切变，位于江西北部至湖南中部一线。20 日 08:00，低涡移至江西境内，冷式切变位于湖南南部至广西北部地区，暖式切变位于江西北部至浙江一线，西南低空急流强劲，西南地区东部、江南大部为一条东西走向的水汽辐合带，为这一时段强降水过程的发生提供了充沛的水汽条件，白背飞虱由于自

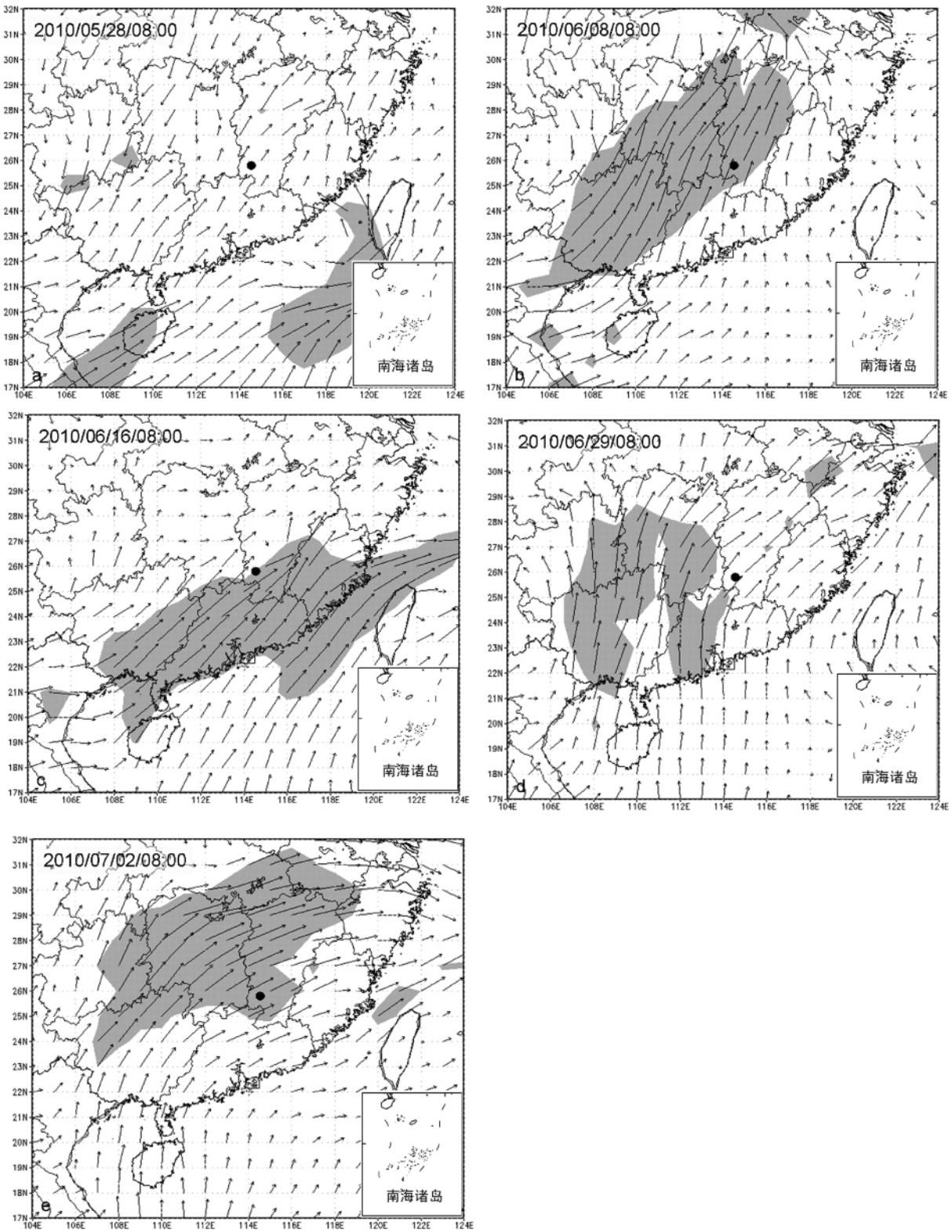

图 6　2010 年上犹县迁入峰期 08:00 850 hPa 上的水平风场(m/s)

Fig. 6　Horizontal wind field/(m/s) on 850 hPa at 08:00 (BJT) during the immigration peaks in Shangyou,2010

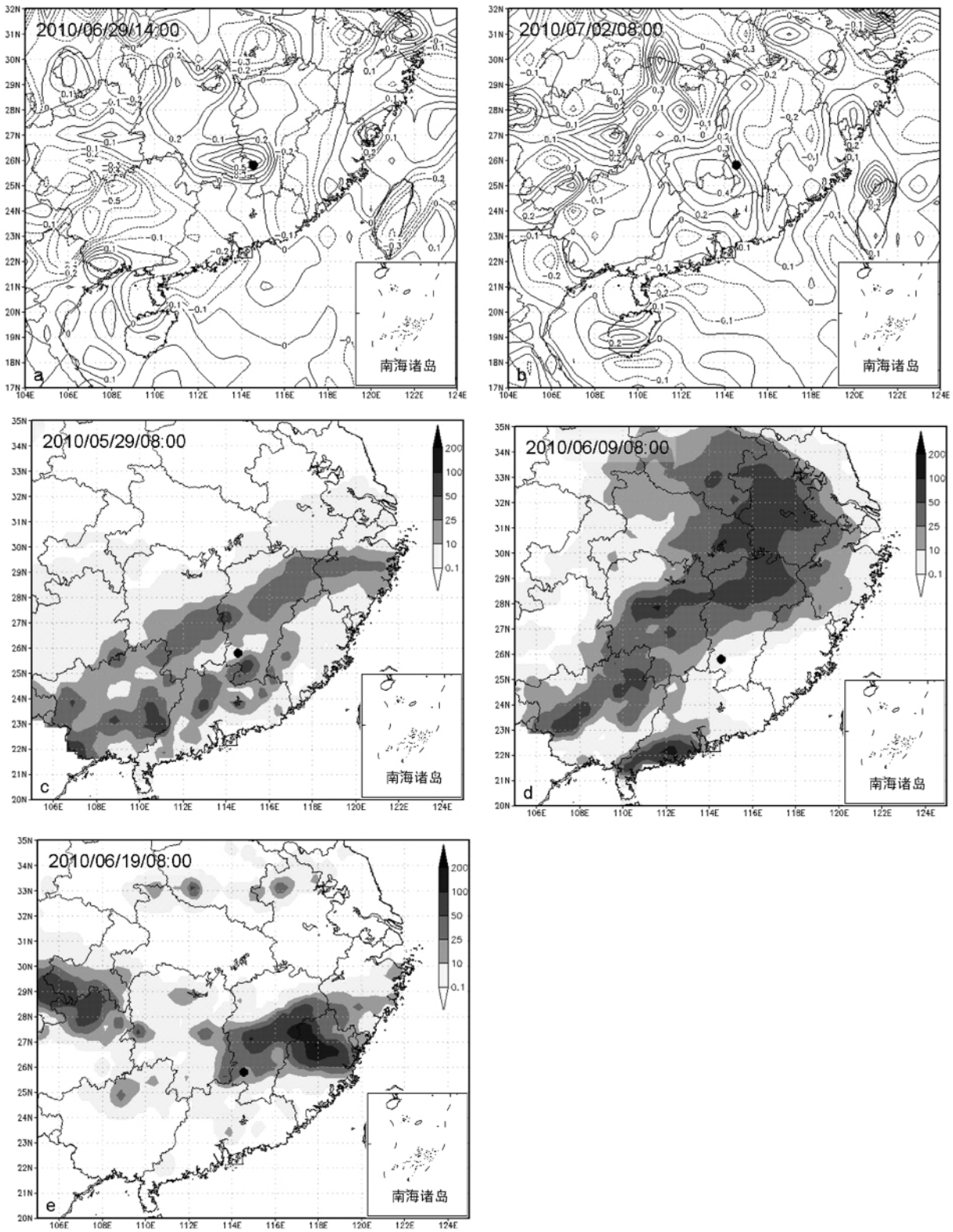

图 7　2010 年上犹县各迁入峰段地面降水分布(mm/d)及 850 hPa 高度上的垂直速度/(Pa/s)

Fig. 7　Surface rainfall distribution (mm/d) and vertical velocity (Pa/s) on 850 hPa during the immigration peaks in Shangyou, 2010

身飞行能力有限,无法穿越这一强降雨带,因此降虫区集中在雨带的南缘。从而携毒白背飞虱在上犹县集中降落,形成 2010 年上犹县水稻感染 SRBSDV 的主要时段(图 7: e)。

6 月末至 7 月初: 6 月末至 7 月初,江西南部稻区双季晚稻正陆续转移到本田,此时外地迁入的 SRBSDV 携毒白背飞虱和当地单季稻上的带毒白背飞虱均可通过取食秧苗期的晚稻传播病毒,并造成晚稻严重失收的现象。上犹县上空 850 hPa 高度上的强下沉气流(图 7: a,b)为本时段内迁入虫群集中降落的胁迫因子,但 6 月末和 7 月初运载气流风向的不同(图 6: d,e),导致同一峰期内毒源地略有偏差,6 月末,广东中南部、广西东部以及海南部分稻区为上犹县提供携毒虫群,7 月初,供毒源地则分布于广东北部、西南部和广西东南部稻区(图 5: d,e)。

3　讨论

白背飞虱作为我国最重要的水稻害虫之一,分布广泛,几乎遍及我国所有的稻区(全国白背飞虱科研协作组, 1981; 胡国文等, 1988)。白背飞虱一旦获毒,即终身带毒,且其若虫和成虫均可传毒,但不能经卵传毒。通过周期性的南北迁飞及降落危害,白背飞虱必将 SRBSDV 扩散到我国长江以南各稻区(周国辉等,2010)。

本文通过白背飞虱虫源地轨迹模拟,结合运载气流、垂直速度等天气动力学研究和发布区域虫源区的叠加分析,探明了广东的西南部、中南部和中部、广西的东南部和海南三省区为江西上犹县的供毒源地,且 2009 年和 2010 年确定的毒源地基本吻合。但是,2009 年,我国仅有中晚稻发病记录,2010 年,早稻上也有感染 SRBSDV 的记录,但发生程度较当地中晚稻轻。这一现象与白背飞虱的迁飞规律、SRBSDV 侵染水稻的特点和各发病稻区的水稻生育期均密切相关,以江西上犹县为例,上犹县双季早稻秧苗期在 4 月中旬以前,而 2009 年白背飞虱在江西上犹的主要带毒迁入时期为 5 月中旬到 6 月中旬,此时双季早稻已在拔节期以后,双季晚稻才是落谷到开始育秧,都不适合 SRBSDV 的侵染发病,而当时单季中晚稻正是育秧,移栽到分蘖阶段,也正是带毒白背飞虱对 SRBSDV 侵染、发病的最主要对象和有利时期。我国各发病稻区均因为白背飞虱始迁入时,双季早稻已过秧苗期、分蘖期而无感染 SRBSDV 的明显受害症状,且 2009 年 SRBSDV 刚得到重视,当地对水稻染病后显症情况不了解,故而没有相关发病记录。

2010 年,我国气候变化异常明显,上半年 3 月至 4 月的持续干旱少雨天气使得水稻播期推迟; 至 6 月中旬开始,我国南方多个省份又遭遇长期持续降雨和连续强降雨过程和水灾(孔期, 2010),这一时期正好是白背飞虱虫量大发生的时期,导致无法喷药防治,错过了最佳防治时期,因而 SRBSDV 的发生面积和发生程度均较 2009 年偏重。

江西南部、湖南南部、云南大部、四川西南部、贵州东南部、福建省中南部以及广东和广西的北部同属于白背飞虱南岭 6、7 代区(胡国文等, 1988),且这些稻区在 2010 年均有 SRBSDV 发生记录,同一发生区的迁入虫群来自于相同的源地,因此,南岭 6、7 代区的 SRBSDV 毒源地也应该相同。根据江西南部上犹县的毒源地分布情况可以推测,两广南部和海南稻区也是白背飞虱南岭 6、7 代区的共同供毒源地。各 SRBSDV 发生区既是毒汇区,也是毒源地,因此,可以通过本文的试验方法,进一步确定南岭 6、7 代区的 SRBSDV 毒汇区分布范围,并由此明确各发病区之间的源库衔接关系。这为缕清传病介体白背飞虱的境内外虫源分布与国内不同毒源区之间的衔接关系,查明暴发性迁入事件和大发生种群的形成及其与病毒病流行的时空关联,揭示稻飞虱区域性迁飞与我国 SRBSDV 病区发展和演化的时空关联性提供了技术方法和基本参数。

但是,除了白背飞虱以外,灰飞虱也能带毒,灰飞虱可低比率带毒(水稻病株上扩繁的二代群体带毒率低于 5%)但不能传毒(周国辉,未发表资料)。问题是,灰飞虱低带不传,是不传水稻,但有无可能传到别的寄主上去? 如玉米,一直对灰飞虱传毒的亲和性很强,而且确实在玉米上发现有 SRBSDV,那么这些病毒是否就是灰飞虱传毒而非白背飞虱传的? 飞虱带毒,虫毒之间是互利还是互作? 白背飞虱与灰飞虱之间是否能交叉感染? 因为白背飞虱和灰飞虱在迁飞时间上存在生态位的演替,如果这 2 种稻飞虱交互传染 SRBSDV,那在病虫害暴发流行上将是灾难性的。所以尽管灰飞虱在水稻上表现出可低比率带毒而

不能传毒，但灰飞虱在 SRBSDV 暴发流行中的作用还需进一步探明。

此外，今后还有待进一步研究有关白背飞虱个体带毒率的检测方法，积累系统资料，分析白背飞虱带毒、传毒、水稻发病和对产量影响的规律，以期进一步为测报和防治提供科学依据。

致谢：江苏省农科院植保所周益军研究员提供了 2 年全国相关病情资料，华南农业大学周国辉教授提供部分病情资料，审改本文并提出宝贵建议，江西省植保局提供上犹县虫情数据，国家气象局提供地面气象要素资料，在此一并致谢。

参考文献(References)

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.

陈若篪，吴家荣，祝树德，张建新，1984. 褐飞虱的飞翔能力. 昆虫学报，27(2)：121—127.

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—80.

封传红，翟保平，陈庆华，汤金仪，2003. 利用 850hPa 气流资料分析稻飞虱迁飞路径. 中国农业气象，24(3)：31—35.

封传红，翟保平，张孝羲，汤金仪，2002. 我国低空急流的时空分布与稻飞虱北迁. 生态学报，22(4)：559—565.

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.

孔期，2010. 2010 年 6 月大气环流和天气分析. 气象，36(9)：120—125.

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.

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) (Delphacidae) in China: radar observations of mass return flight in the autumn. *Ecological Entomology*, 16(4)：471—489.

Riley JR, Reynolds DR, Smith AD, Rosenberg LJ, Cheng XN, Zhang XX, Xu GM, Cheng JY, Bao AD, Zhai BP, Wang HK, 1994. Observations of the autumn migration of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) and other pests in East Central China. *Bulletin of Entomological Research*, 84(3)：389—402.

Rosenberg LJ, Magor JI, 1983. Flight duration of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). *Ecological Entomology*, 8(3)：341—350.

Rosenberg LJ, Magor JI, 1987. Prediction windborne displacements of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* from synoptic weather data. *Journal of Animal Ecology*, 56(1)：39—51.

Wang Q, Yang J, Zhou GH, Zhang HM, Chen JP, Adams MJ, 2010. The complete genome sequence of two isolates of southern rice black-streaked dwarf virus, a new member of the genus *Fijivirus*. *Journal of Phytopathology*, 158(11/12)：733—737.

Zhang HM, Yang J, Chen JP, Adams MJ, 2008. A black-streaked dwarf disease on rice in China is caused by a novel *Fijivirus*. *Archives of Virology*, 153(10)：1893—1898.

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

翟保平，张孝羲，1993. 迁飞过程中昆虫的行为：对风温场的适应与选择. 生态学报，13(4)：356—363.

赵悦，吴璀献，朱旭东，蒋学辉，张孝羲，翟保平，2011. 浙江武义 2009 年南方水稻黑条矮缩病的毒源地分析. 昆虫学报，54(8)：949—959.

周国辉，温锦君，蔡德江，李鹏，许东林，张曙光，2008. 呼肠孤病毒科斐济病毒属一新种：南方水稻黑条矮缩病毒. 科学通报，58(20)：2500—2508.

周国辉，张曙光，邹寿发，许兆伟，周志强，2010. 水稻新病害南方水稻黑条矮缩病发生特点及危害趋势分析. 植物保护，36(2)：144—146.

应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2011,48(5):1335—1340

十六个水稻品种(系)对褐飞虱的抗虫性评价*

商科科 徐雪亮 王 晖 胡定邦 张青玲 杨长举 华红霞**

(华中农业大学植物科学技术学院 武汉 430070)

摘 要 本文通过苗期抗性鉴定、田间抗虫性鉴定、稻田节肢动物功能团优势度比较及产量测定的方法来评价16个水稻品种(系)对褐飞虱 *Nilaparvata lugens*(Stål)的抗性。结果表明,有12个品种(系)对褐飞虱表现为抗级,2个品系表现为中抗。这14个抗虫-中抗的品种(系)在成株期也表现一定的抗虫性,且与对照TN1之间差异显著。本试验条件下,广占63-3S/华恢15、广两优106、Y58S/华15、广两优476、广占63-4S/华恢15这5个品种(系)不仅抗虫性好,而且产量也较高,分别比TN1和主栽品种扬两优6号高63.49%~66.57%和3.47%~11.57%,具有广泛的开发应用前景。

关键词 褐飞虱,抗虫性鉴定,功能团,水稻品种(系),抗稻飞虱基因

Resistance to brown planthopper (*Nilaparvata lugens*) of 16 rice varieties (lines)

SHANG Ke-Ke XU Xue-Liang WANG Hui HU Ding-Bang ZHANG Qing-Ling YANG Chang-Ju HUA Hong-Xia**

(College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract The resistance of 16 rice varieties (lines) to the brown planthopper (BPH), *Nilaparvata lugens* (Stål) was evaluated using a modified bulk seedling test, evaluation of the resistance of adult plants in the field, assessment of guild dominance in the arthropod community and rice yield. The results indicate that 12 varieties (lines) were highly resistant to BPH and 2 lines were moderately resistant to BPH at the seedling stage. The resistance of 14 varieties significantly improved at the adult stage. Besides improved resistance, the yields of the varieties Guangzhang63-3S/Huahui15, Guangliangyou106, Y58S/Hua15, Guangliangyou476 and Guangzhan63-4S/Huahui15 were 3.47% to 11.57% higher than that of Yangliangyou6hao (a leading variety in Hubei). The former two varieties have great potential in further developing rice production.

Key words *Nilaparvata lugens*, appraisal for resistance, gulid dominance, rice varieties (lines), *Bph* genes

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) (BPH)是危害水稻的主要害虫,由于它具有迁飞性、突发性和猖獗性等特点(李汝铎,1996;秦学毅等,1999;洪乃桥和何显文,2007),对水稻生产构成极大的威胁。抗虫品种的利用已被证明为一种防治褐飞虱最经济、安全、有效的措施。国内外学者高度重视抗褐飞虱水稻品种的筛选与培育,并开展了大量的研究工作(Heinrichs *et al.*, 1985a, 1985b; Wu *et al.*, 1986;陈峰等,1989;曾玲和庞雄飞,1992;杨长举等,1999; Soundararajan *et al.*, 2004; Park *et al.*, 2007)。

迄今为止,已在栽培稻和野生稻材料中陆续发现了一大批抗虫资源,并从中鉴定出至少22个抗稻褐飞虱主效基因,定位了其中18个基因(Khush *et al.*, 1985; Kabir and Khush, 1988; Nemoto *et al.*, 1989; Kawaguchi *et al.*, 2001;黄朝锋和张桂权,2003; Jena *et al.*, 2006)。如Huang等(2001)将药用野生稻(*Oryza officinalis*)中的抗

* 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(200803003)。

**通讯作者,E-mail: huahongxia@mail.hzau.edu.cn

收稿日期:2011-08-07,接受日期:2011-08-22