

“海棠”台风气流场对褐飞虱北迁路径的影响*

王翠花¹ 翟保平^{1*} 包云轩²

(¹ 南京农业大学农业部病虫害监测与治理重点开放实验室, 南京 210095; ² 南京信息工程大学应用气象学院, 南京 210014)

摘要 基于 GIS、GrADS 软件和 HYSPLIT-4.8 轨迹模式, 分析了 0505 号台风“海棠”发生期间(2005 年 7 月 19—21 日)中国 10 个省 42 个虫情观测点的逐日灯诱褐飞虱虫量、850 hPa 等压面的风场和 20 个虫情监测点的褐飞虱迁飞轨迹. 结果表明:台风“海棠”登陆中国后, 改变了引导褐飞虱向北迁飞的西南气流, 造成风场在台风西南部的辐合和大范围的转向, 阻止了褐飞虱的向北迁飞, 迫使其在某些区域集中迫降. 850 hPa 等压面上切变线附近是褐飞虱集中降落的区域, 在台风衰亡时期, 台风东南部气流暖式切变区是大量降虫的区域, 台风整体登陆后, 西南气流的再次建立, 造成褐飞虱的大量北迁.

关键词 台风 褐飞虱 风场 切变线

文章编号 1001-9332(2009)10-2506-07 中图分类号 S435.112 文献标识码 A

Effects of typhoon ‘Haitang’ airflow field on the northward migration route of rice brown planthopper. WANG Cui-hua¹, ZHAI Bao-ping¹, BAO Yun-xuan²(¹Ministry of Agriculture Key Laboratory of Monitoring and Management of Plant Diseases and Insects, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; ²College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210014, China). -Chin. J. Appl. Ecol. 2009 20(10): 2506-2512.

Abstract: Based on GIS, GrADS, and HYSPLIT-4.8 model, this paper analyzed the daily light-trap catches of rice brown planthopper at 42 pest monitoring stations of 10 provinces in China, the wind field on 850 hPa isobaric surface, and the migration tracks of rice brown planthopper at 20 pest monitoring stations during the occurrence of 0505 typhoon ‘Haitang’ from 19th to 21st July, 2005. After its landing on China, the typhoon ‘Haitang’ changed the southwest air flow, a flow which leads the northward migration of rice brown planthopper, and made the wind field converge in the southwest of the typhoon and swerve in larger areas. Accordingly, the northward migration of the rice brown planthopper was stopped, and the airborne populations were forced to descend in some areas. The shear line area nearby 850 hPa isobaric surface was the concentration and deposition area of the rice brown planthopper. There would be a mass migration area in the warm airflow shear area in the southeast of typhoon during the collapse of the typhoon. After the whole typhoon landed, the southwest airflow rebuilt, and a mass rice brown planthopper migrated to the north.

Key words: typhoon; brown planthopper; wind field; shear line.

褐飞虱(*Nilaparvata lugens*)是一种迁飞性水稻害虫,其迁飞受大气环流和天气系统的影响.在褐飞虱迁飞季节内,几乎每次大型天气过程的发生均会引起相应地区褐飞虱的迁飞.中国位于北太平洋西岸,西太平洋热带地区是全球台风和热带风暴生成最多的地区,其中,年均登陆我国的台风数达 7 次^[1].作为一个独特而重要的大气背景场,台风登

陆后所带来的强风、强降水以及对陆地上大气环流的重大调整作用必然影响褐飞虱的迁飞和降落.5—6 月生成的台风主要影响我国南部沿海地区的褐飞虱迁飞,7—8 月则明显影响各地褐飞虱的迁飞,9—10 月台风外围的急流区可导致北方稻区虫源回迁至我国南方部分稻区^[2].汪毓才等^[3]研究了褐飞虱迁飞路线与气流之间的关系,将台风影响型分为北部湾台风型、南海台风型和东海台风型.不同台风类型对风场的改变方式不同,造成虫源地和迁入地虫量的复杂多样.西行路径的北部湾台风和南海台风

* 国家重点基础研究发展规划项目(2006CB102007)和国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD08A01)资助.

* 通讯作者. E-mail: bpzhai@njau.edu.cn

2009-02-23 收稿 2009-07-24 接受.

有利于褐飞虱迁入四川^[4]。江广恒等^[5]研究认为,在褐飞虱南迁过程中,850 hPa 等压面图上,褐飞虱虫量较大的区域集中在台风西南部、台风倒槽以西区域。9月中旬开始,受到台风外围风场的影响,东北风被加强,褐飞虱的回迁速度加快^[6]。

尽管台风是影响褐飞虱迁飞的一个重要大气背景场,但因其研究难度太大,多年来昆虫学者主要关注梅雨、锋面、副高、中尺度天气系统、厄尔尼诺和南方涛动(ENSO, El Niño/Southern Oscillation)活动对褐飞虱迁飞的影响^[7-11]。2005年,沉寂了10年之久的褐飞虱在我国华南、江南和西南稻区再次暴发,褐飞虱种群迁入早、迁入峰次多、虫源基数大加上抗药性是造成褐飞虱卷土重来的主因^[12-15],当年8—9月台风多次登陆给各地带来了多次迁入峰,而台风降水及其暖中心结构特征所形成的“凉夏暖秋”气候条件更加重了褐飞虱后期的增殖暴发^[16-17]。在全球气候变化背景下,天气、气候极端事件的发生频率日益增加,导致中纬度台风活动的强度增大^[18],因此,深入细致地研究台风影响褐飞虱迁飞的规律,对及时了解褐飞虱的迁飞动态,并有效地进行防治具有重要意义。目前,台风影响褐飞虱的环流分型已基本清楚,但不同时期、不同台风路径、不同登陆地点台风对褐飞虱迁飞路径的影响研究则相对较少。为此,本文从0505号台风“海棠”入手,通过对台风登陆后高空气流场与褐飞虱空间分布的对应分析,研究了西北路径台风在登陆过程中的气流场对褐飞虱北迁的影响,旨在解决褐飞虱北迁过程中,台风登陆对其北迁路径的影响。

1 材料与方法

1.1 资料来源

0505号台风“海棠”于2005年7月11日在西北太平洋22.1°N、154.1°E处生成,然后向西北方向移动,于2005年7月18日8:00在23.8°N、121.8°E登陆中国台湾花莲附近,7月20日登陆福建,台风中心经过福建、江西,7月21日2:00消失于江西西北部(图1)。此次台风从其生成到消亡共持续了11d。随着台风中心位置的改变,整个大气环流,尤其是西南气流进行了重大调整,褐飞虱的迁飞路径和集中降落位置也随之发生了很大改变。

本研究所用虫情资料为2005年7月16—26日42个虫情监测点(安徽省的东至、居巢和徽州,江苏省的通州、高淳、太仓和宜兴,浙江省的温州、天台、东阳、嘉兴、绍兴、诸暨和遂昌,福建省的建阳、福清、

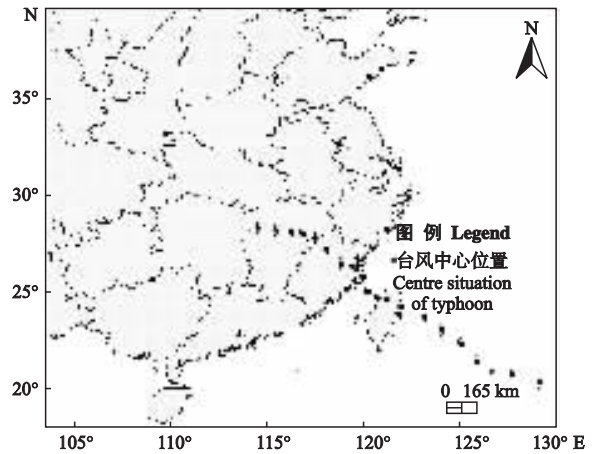


图1 0505号台风路径

Fig. 1 Typhoon route of No. 0505.

同安和新罗,湖南省的长沙、攸县、洪江和桂阳,湖北省的夷陵和通城,江西省的修水、上高、临川、泰和和宜春,贵州省的思南、惠水和三都,广东省的梅县、肇庆、曲江和雷州,广西的全州、灵川、永福、龙州、贺州和兴宾)逐日灯诱褐飞虱资料。850 hPa 风场资料为美国国家环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)的再分析资料,分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 。为了提高图形的清晰度,将绘图区域限制在 $15^\circ-40^\circ$ N、 $100^\circ-140^\circ$ E。

1.2 研究方法

根据各监测点的逐日灯诱褐飞虱资料确定迁入峰次,分析形成各峰次的天气因素。

利用 ArcGIS 9.0 软件绘制 2005 年 7 月 16—26 日褐飞虱的虫量空间分布图。由于褐飞虱主要在夜间迁飞,其夏季的适宜迁飞高度为 1000 ~ 1500 m^[19],因此 850 hPa 等压面上气象要素场的分布情况对迁飞性昆虫的起飞、飞行和降落有很大影响^[20-21]。本研究利用气象数据处理和显示软件系统 GrADS(Grid Analysis and Display System)绘制了这 11 d 每日 20:00 850 hPa 等压面的风场图,通过空间对比分析,确定台风对褐飞虱北迁影响的环流特征。利用 NCEP 的再分析资料和混合单粒子拉格朗日积分轨迹模式(Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory, HYSPLIT-4.8)模拟台风影响期间褐飞虱的迁飞轨迹。

利用 HYSPLIT-4.8 轨迹模式对各地迁飞轨迹进行模拟时,考虑模式对模拟最大点的限制以及图形的清晰度,在监测点中选择了虫量变化较明显,并在台风影响区域中的 20 个测点作为模拟对象。

2 结果与分析

2.1 “海棠”活动过程中褐飞虱的迁飞动态

7月中、下旬,南岭区和岭北区早稻黄熟,褐飞虱长翅型成虫大量出现,开始迁入长江中下游地区,并波及淮河流域^[22],此时,大气环流的调整往往会影响褐飞虱的长距离北迁.从台风“海棠”登陆前至

消亡后各地虫量的变化(图2)可以看出,2005年7月18日,台风西部风场影响范围波及东南沿海,7月19日各地灯诱虫量普遍降低,并以广西永福的虫量突减尤为明显;7月20日,台风整体进入福建,岭北及长江中下游地区有褐飞虱大量迁入,并以福建新罗、贵州思南的迁入最明显,此外南岭以南的广西龙州也有大量褐飞虱迁入;7月21日台风消亡,在

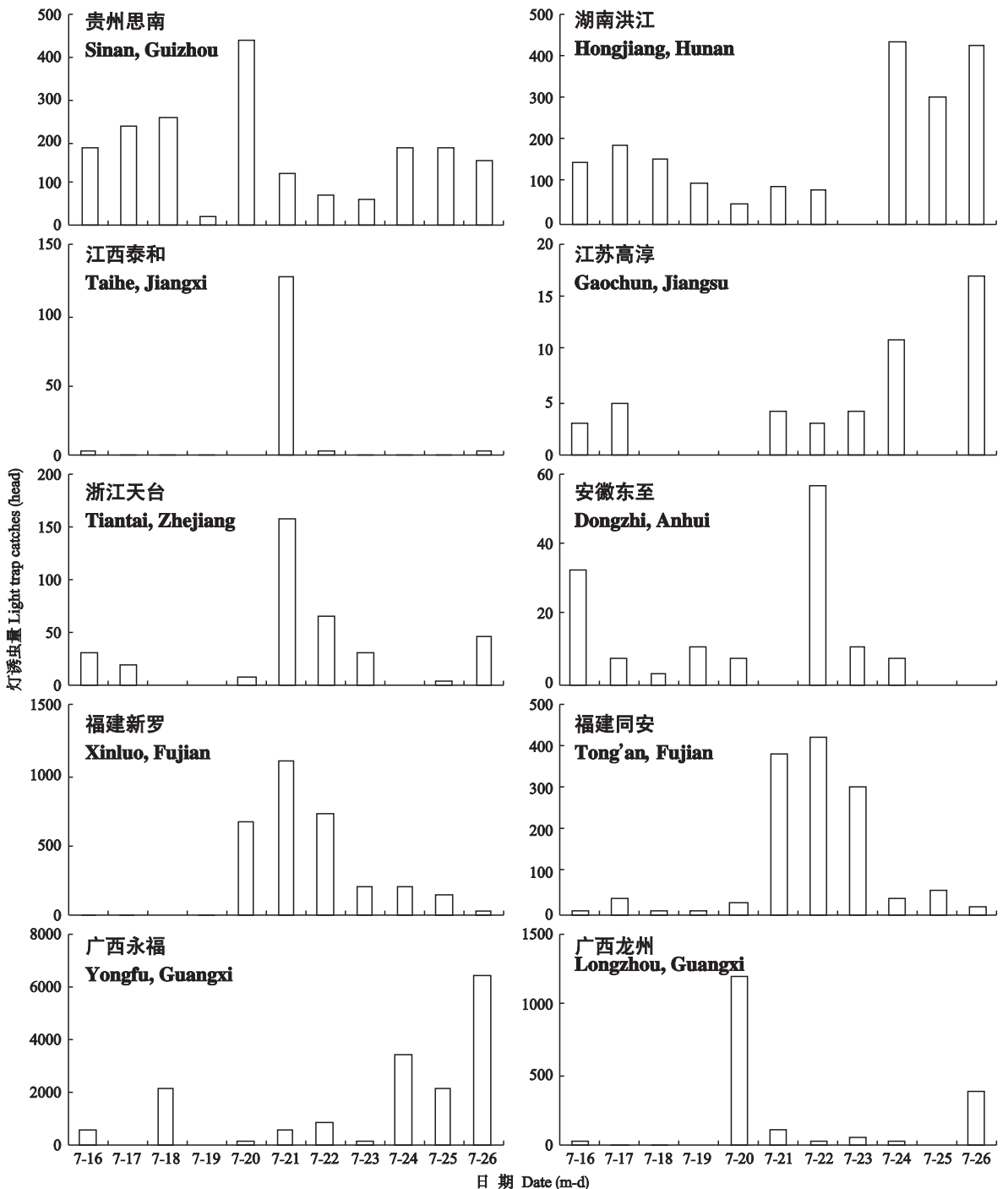


图2 “海棠”活动过程中灯下褐飞虱虫量的变化

Fig. 2 Change of brown planthoppers under light in the process of typhoon “Haitang” (2005-07-16–2005-07-26).

南岭附近及长江中下游地区褐飞虱有迁入峰出现,以湖南洪江、江西泰和、福建新罗和同安、广西永福的虫量增加较明显;台风结束后的2~3 d,除江西泰和外,其他各地虫量均呈先增后减的波动趋势。说明此次褐飞虱北迁过程中虫量的不规则变化,与台风“海棠”的活动有关。

2.2 “海棠”台风气流场对褐飞虱迁飞的影响

褐飞虱在空中依靠运载气流而迁飞,在夏季北迁过程中,850 hPa的高空气流与其迁飞路径基本一致^[23]。通过分析2005年7月16—26日850 hPa等压面的风场发现,在“海棠”台风系统登陆台湾前,引导褐飞虱北迁的西南气流覆盖了我国华南和华中地区,而台风登陆台湾后,西南气流的影响范围减小,并且整个研究区域的大气环流有了较大变化。21日台风系统转变为大陆热低压后,从华南、华中到长江中下游的西南气流再次建立。

褐飞虱迁飞的起飞时间一般发生在日出前和日落后的20 min左右,且日落之后是褐飞虱起飞迁出的高峰时期,当日灯诱虫量与前一日夜间风场的变化有很大关系。因此,本文用前一日20:00 850 hPa风场来分析水平气流对褐飞虱迁飞的影响。

由图3a可以看出,2005年7月18日20:00,江苏、浙江、江西及福建大部基本为东风或东北风控制,两广为西北风。如此的风场分布,不利于两广褐飞虱北迁,有利于长江中下游的褐飞虱南迁。两广的褐飞虱在西北气流引导下向东南方向迁飞,进入台风东南侧的南海和台湾海峡;长江中下游地区的褐飞虱沿东风或东北风分别向西或西南方向迁飞。由此造成了7月19日监测区域各地虫量普遍降低。

7月19日20:00,“海棠”台风中心到达福建,台风主体的四分之三已进入陆地,江苏、浙江一带风速加大,其他各地风速减小(图3b)。7月18日岭北区及长江中下游地区随台风迁飞的褐飞虱已到达22°—26°N、105°—110°E附近,该区域是风场的冷式切变区,褐飞虱常降落在切变线附近^[24],导致该日广西龙州降虫达上千头。此外,褐飞虱能集中降落、不随西风气流迁出广西的原因与位于同一纬度的广东地区的西北风阻挡有关。福建南部风速下降,风向由东北风转为西南风,有利于褐飞虱随西南气流迁入并降落,造成7月19日福建新罗的降虫量大增。

7月20日20:00,“海棠”台风处于衰亡阶段,其中心到达江西(图3c)。受台风外围风场的影响,西南气流在广西北部、湖南西部形成切变线,气流辐

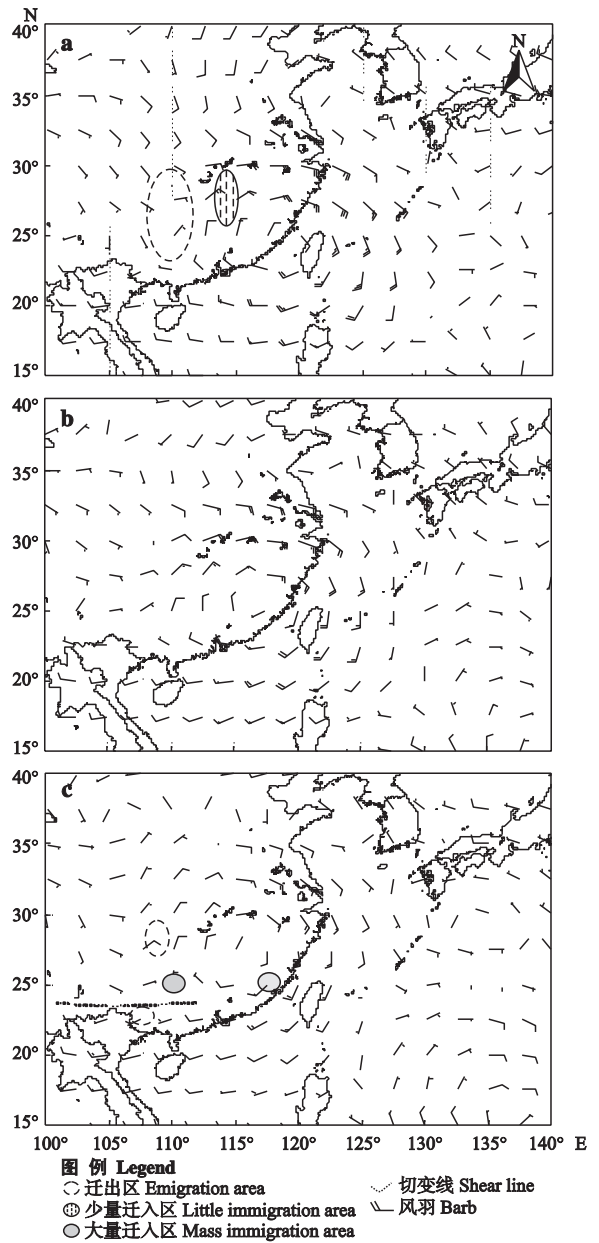


图3 7月18—20日850 hPa风场

Fig. 3 Wind field on 850 hPa isobaric surface from July 18th to 20th.

a) 7-18; b) 7-19; c) 7-20.

合,为褐飞虱在广西北部的集中降落创造了条件,当日此地降虫量较大。广东、广西南部是平直的西风气流,广西龙州的褐飞虱在该日随东南沿海的西南气流顺利迁出,并波及到福建南部。福建新罗、同安是台风槽前的西南气流暖式切变区,有利于褐飞虱降落。7月20日该处灯下诱虫量明显增加。

2.3 褐飞虱的迁飞轨迹

Otuka等^[25]根据第五代中尺度数值预报模式(Mesoscale Model Version 5, MMS5)和褐飞虱的迁飞速度,模拟了日本九州的褐飞虱迁飞轨迹,找到了虫

源地. 本文为了进一步说明台风气流场对褐飞虱迁飞路径的影响, 利用美国国家海洋和大气局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)的 HYSPLIT-4.8 分析了“海棠”台风过程期间 20 个虫情测报点的褐飞虱迁入、迁出轨迹.

在进行迁飞轨迹模拟过程中, 前推表示时间顺延, 后推则反之(如图 4a 中的 12 h 前推轨迹, 就是从 7 月 18 日 20:00 开始一直模拟到 7 月 19 日 8:00). 每隔 6 h 输出一次降落点, 最后一点在前推轨迹中代表迁入地, 在后推轨迹中代表虫源地.

从图 4a 可以看出, 2005 年 7 月 18 日 20:00 后, “海棠”台风外围大风区波及到江苏、浙江、江西、湖南、湖北、广东和广西, 影响了褐飞虱的北迁路径. 新罗、福清、同安的褐飞虱受到台风中心静风影响而没有迁出, 19 日虫量的变化不大. 宜兴、高淳和思南的褐飞虱向西北方向迁出, 由于靠近沿海的地方风速大, 导致迁飞轨迹长, 最长的迁飞距离达 7 个经度, 高淳、宜兴虫源的迁出造成安徽东至、徽州虫源增加. 兴宾、龙州的褐飞虱向东迁出, 但迁飞距离很短, 仅 100 km 左右. 其他各地褐飞虱的迁飞轨迹与台风外围气流的方向一致. 说明 19 日虫量的减少是受台风外围气场影响所致, 而虫量变化不大的地区位于台风中心, 没有迁入迁出.

图 4b 中 24 h 回推轨迹表明, 7 月 20 日思南的虫源最远来自安徽南部. 龙州的虫源来自越南北部稻区, 原因在于此时是越南北部早稻的收获期, 受水稻生育期食料恶化的影响, 越南北部这一时期会出现大量的长翅型褐飞虱成虫迁入我国广西等地, 同时受“海棠”台风西北部东北风的影响, 龙州位于切变线附近, 气流辐合上升易形成降水天气. 根据“中国气象科学数据共享服务网”的资料记录, 7 月 20 日龙州降水量 91.5 mm, 达到暴雨等级, 这也促成了褐飞虱在龙州的大量降落. 浙江东阳、天台和温州迁飞轨迹经过海上, 由于缺少虫源, 所以这些地方的虫量变化很小. 福建新罗的虫源主要来自江西南部.

7 月 21 日, 台风中心到达江西, 其强度减弱, 风速降低, 受此影响, 临川和泰和的褐飞虱迁飞速度减慢, 迁飞轨迹变短, 东南沿海各地受台风后部西南气流影响, 迁飞轨迹从西南向东北(图 4c). 对迁飞轨迹走向与各地虫量变化的分析表明, 凡迁飞轨迹到达各地前经过陆地的, 当日灯诱虫量都增加, 如东阳、天台、高淳、宜兴的当日虫量均有所增加, 而达到目的地前迁飞轨迹经过海洋的, 当日灯诱虫量的变化不大, 如福清、温州; 新罗当日处在减弱台风的中

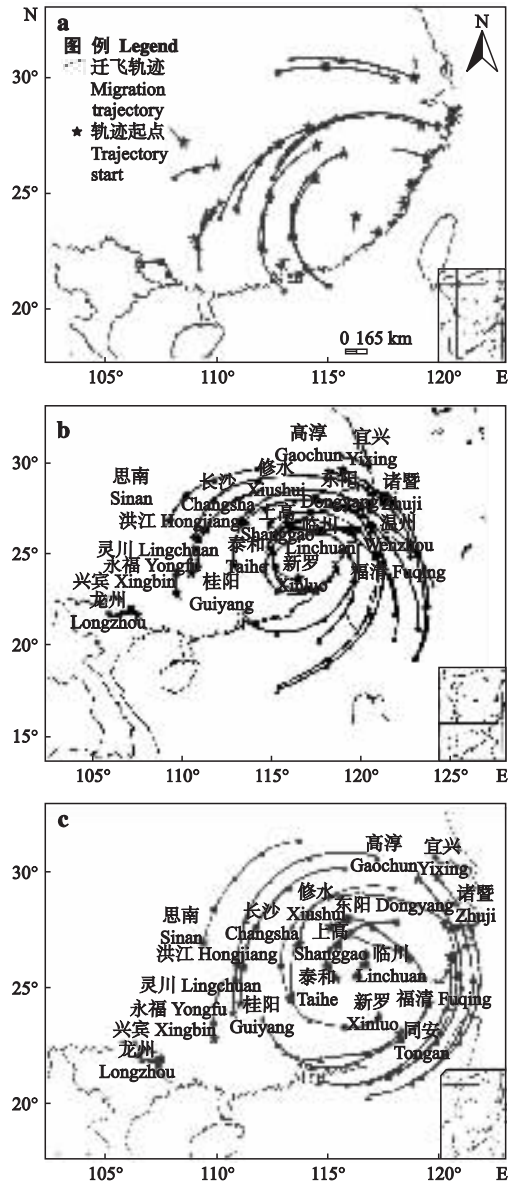


图 4 1500 m 高度的褐飞虱迁飞轨迹

Fig. 4 Brown planthopper migration trajectories at 1500 m height.

a) 7 月 18 日 20:00 的 12 h 前推轨迹 Twelve hours forward trajectories starting at 20:00 on July 18th ; b) 7 月 20 日 8:00 的 24 h 后推轨迹 Twenty four hours backward trajectories starting at 8:00 on July 20th ; c) 7 月 21 日 8:00 的 24 h 后推轨迹 Twenty four hours backward trajectories starting at 8:00 on July 21th.

心附近, 仍有小雨出现, 加上江西、湖南的虫源迁入造成此处虫量有所增加.

3 讨 论

台风是热带海洋上生成的具有暖中心结构的低压系统, 具有巨大的垂直和水平环流, 从生成到登陆之前, 是其不断发展时期, 登陆之后逐渐进入消亡时期, 在风场上表现为风速逐渐降低.

Pedgley 等^[26]认为, 如果不是为了抗御高空中

的低温影响,迁飞期的褐飞虱都会在辐合上升气流区上升.所以,台风“海棠”登陆开始时强大的逆时针旋转气流,改变了我国东南沿海的风场结构型式.台风系统中强烈的逆时针辐合上升气流,造成大量褐飞虱随风迁出.在褐飞虱迁出过程中,由于台风眼附近区域风速小,所以此处褐飞虱虫量变化不大,而在台风大风区西北侧的东北风导致褐飞虱迁飞轨迹为自东北向西南.

当台风系统进入衰亡时期,风速降低,台风西南部形成风场冷式切变,由于切变线附近气流辐合上升,多阴雨天气,随台风迁飞而来的褐飞虱受降水影响在切变线附近产生了较大的降虫量.当台风东部有西南气流形成后,我国南岭和岭北的褐飞虱将随西南气流向北迁入,在台风东南部风场产生暖式切变的区域,褐飞虱迁入明显.

台风“海棠”在登陆的过程中,阻止了褐飞虱的继续北上,迫使已经迁往长江下游的褐飞虱顺着台风西北部的东北气流迁向西南.在台风整体登陆后,东部沿海的西南气流再次建立,从而造成褐飞虱在台风结束后的大量北迁.

本文通过对风场和迁飞轨迹的分析,清楚地再现了台风“海棠”从登陆到消亡过程中,褐飞虱北迁路径的变化.以往的研究主要集中在台风气压场和不同区域台风对褐飞虱降落的影响,而本文首次从台风气流场的结构探讨了其运动过程对褐飞虱北迁路径的影响,并给出了迁飞过程中各地的虫源关系.

参考文献

- [1] Wang F-T(王馥棠), Zhao Z-C(赵宗慈), Wang S-L(王石立), et al. The Impacts of Climate Change on Agricultural Ecology. Beijing: China Meteorological Press, 2003 (in Chinese)
- [2] Li R-D(李汝铎), Ding J-H(丁锦华), Hu G-W(胡国文), et al. *Nilaparvata lugens* and Its Species Management. Shanghai: Fudan University Press, 1996 (in Chinese)
- [3] Wang Y-C(汪毓才), Hu G-W(胡国文), Xie M-X(谢明霞). A study of upper winds analysis for the migratory path of the white-black plant hopper and the brown plant hopper in China. *Acta Phytopylacica Sinica* (植物保护学报), 1982, 9(2): 73-82 (in Chinese)
- [4] Xiang W-G(向卫国), Hu H-B(胡红兵), Wan J(万军), et al. Analysis of the patterns of weather circulation in which plant hopper occurs in Sichuan Province. *Journal of Chengdu Institute of Meteorology* (成都气象学院学报), 1995, 10(3): 211-219 (in Chinese)
- [5] Jiang G-H(江广恒), Tan H-Q(谈涵秋), Shen W-Z(沈婉贞). The relation between long-distance southward migration of the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) and synoptic weather conditions. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), 1982, 25(2): 147-155 (in Chinese)
- [6] Cheng X-N(程遐年), Zhang X-X(张孝羲), Cheng J-Y(程极益). Radar observations of the autumn migration of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) in the east of China. *Journal of Nanjing Agricultural University* (南京农业大学学报), 1994, 17(3): 24-32 (in Chinese)
- [7] Qian S(钱拴), Huo Z-G(霍治国). Influences of atmospheric circulation on the occurrence and development of rice planthopper in China and its occurrence area prediction. *Acta Meteorologica Sinica* (气象学报), 2007, 65(6): 994-1001 (in Chinese)
- [8] Ma F(马飞), Zhang X-L(张夕林), Cheng X-N(程遐年). Selection of predictors for long-term occurrence forecast of *Nilaparvata lugens* (BPH) and model construction. *Journal of Nanjing Agricultural University* (南京农业大学学报), 2001, 24(2): 53-56 (in Chinese)
- [9] Xian X-Q(洗晓青), Zhai B-P(翟保平), Zhang X-X(张孝羲). Tele-connection between Pacific Sea surface temperature and the early immigration of brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) in the Yangtze and Yangtze-Huai River Valley of Jiangsu Province and its possible mechanism. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), 2007, 50(6): 578-587 (in Chinese)
- [10] Zhu M(朱敏), Hu G-W(胡国文), Tang J(唐健), et al. Effect of globe climate abnormality (ENSO phenomena occurrence) on outbreak of rice brown planthopper in China. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 1997, 30(5): 1-5 (in Chinese)
- [11] Crummey FA, Atkinson BW. Atmospheric influences on light-trap catches of the brown planthopper rice pest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1997, 88: 181-297
- [12] Wang M-Y(王明勇). The reason and control inspiration of outbreak of *Nilaparvata lugens* in 2005. *Plant Protection* (植物保护), 2006, 32(5): 113-115 (in Chinese)
- [13] Jiang Y-P(蒋耀培), Li J(李军), Yang Q-Z(杨秋珍). The occurrence characteristics and factors of *Nilaparvata lugens* in Shanghai in 2005. *Plant Protection* (植物保护), 2006, 32(4): 96-97 (in Chinese)
- [14] Cheng J-A(程家安), Zhu Z-R(祝增荣). Analysis on the key factors causing the outbreak of brown plan-

- thopper in Yangtze Area, China in 2005. *Plant Protection* (植物保护), 2006, **32**(4): 1-4 (in Chinese)
- [15] Liang G-M (梁桂梅), Li Y-P (李永平), Guo J-Q (郭井泉), *et al.* Recent years occurrence trend and control of drug-resistant of planthopper in Thailand and Vietnam. *China Plant Protection* (中国植保导刊), 2007, **27**(6): 44-45 (in Chinese)
- [16] Shen J-X (沈建新), Shen Y-M (沈益民). Outbreak reason of brown plathopper, *Nilaparvata lugens*, in 2005 and control strategy. *Entomological Knowledge* (昆虫知识), 2007, **44**(5): 731-733 (in Chinese)
- [17] Zhai B-P (翟保平), Cheng J-A (程家安). Summary of the symposium on two transference pest of rice in 2006. *Entomological Knowledge* (昆虫知识), 2006, **43**(4): 585-588 (in Chinese)
- [18] Ding Y-H (丁一汇), Zhang J (张锦), Xu Y (徐影), *et al.* The Evolution and Prediction for Climate System. Beijing: China Meteorological Press, 2003 (in Chinese)
- [19] Deng W-X (邓望喜). A general survey on seasonal migrations of *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Sogatella furcifera* Horvath (Homoptera: Delphacidae) by means of airplane collections. *Acta Phytophylacica Sinica* (植物保护学报), 1981, **8**(2): 73-81 (in Chinese)
- [20] Wang C-H (王翠花), Bao Y-X (包云轩), Wang J-Q (王建强), *et al.* Atmospheric water vapor conditions of *Cnaphalocrocis medinalis* outbreak in 2003. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2006, **17**(9): 1693-1698 (in Chinese)
- [21] Wang C-H (王翠花), Bao Y-X (包云轩), Wang J-Q (王建强), *et al.* Analysis on atmospheric dynamical mechanisms for the great immigration events of the rice leaf roller *Cnaphalocrocis medinalis* Guenee in 2003. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), 2006, **49**(4): 604-612 (in Chinese)
- [22] Cheng X-N (程遐年), Chen R-C (陈若麓), Xi X (习学), *et al.* Studies on the migrations of brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stål. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), 1979, **22**(1): 1-21 (in Chinese)
- [23] Jiang G-H (江广恒), Tan H-Q (谈涵秋), Shen W-Z (沈婉贞), *et al.* The relation between long-distance northward migration of the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) and synoptic weather conditions. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), 1981, **24**(3): 251-261 (in Chinese)
- [24] Tan H-Q (谈涵秋), Mao R-Z (毛瑞曾), Cheng J-Y (程极益), *et al.* Relation between landing of brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) in long distance migration and vertical air stream and rainfall. *Journal of Nanjing Agricultural University* (南京农学院学报), 1984(2): 18-25 (in Chinese)
- [25] Otuka A, Dudahia J, Watanabe T, *et al.* A new trajectory analysis method for migratory planthoppers, *Sogatella furcifera* Horváth (Homoptera: Delphacidae) and *Nilaparvata lugens* Stål, using an advanced weather forecast model. *Agricultural and Forest Entomology*, 2005, **7**: 1-9
- [26] Pedgley DE, Scorer RS, Purdom JFW, *et al.* Concentration of flying insects by the wind. *Philosophical Transactions of The Royal Society B: Biological Sciences*, 1990, **328**: 631-653

作者简介 王翠花,女,1966年生,硕士,讲师.主要从事气候变化、应用气象和生态学研究,发表论文6篇. E-mail: wch@njau.edu.cn

责任编辑 杨弘
