沿黄稻区灰飞虱越冬种群的时空分布及抽样技术研究*

张强翔[1,2**] 任应党[3] 林克剑[2***]
侯茂林[2] 鲁传涛[3] 刘红彦[3] 黄兴奇[4]
(1. 云南大学生命科学学院 昆明 650091;2. 中国农业科学院植物保护研究所 植物病虫害生物学国家重点实验室 北京 100193;3. 河南省农业科学院植物保护研究所 郑州 450002;
4. 云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所 昆明 650091)

摘 要 2009—2010 年间系统调查了河南省境内沿黄稻区灰飞虱 *Laodelphax striatellus* Fallén 越冬种群的时空动态变化,并在田间调查的基础上,运用聚集度指标法和改进的 Iwao 回归分析法对沿黄稻区灰飞虱越冬种群的空间分布格局、理论抽样数及序贯抽样技术进行了研究。结果表明,灰飞虱在沿黄流域主要以少量 3、4 龄若虫进行越冬,11 月下旬进入越冬期,翌年 4 月上中旬为越冬代种群发生高峰期,成、若虫虫量分别为 22 头/m^2、43 头/m^2;灰飞虱成虫在 5 月中旬开始向水稻田迁飞,迁入高峰时虫量在 450 头 /m^2 以上;灰飞虱越冬代成虫在麦田中空间分布型的聚集性指标大于 1,空间分布型为聚集分布型,在此基础上得出灰飞虱田间调查的理论抽样数公式:$N = \frac{t^2}{D^2}\left(\frac{0.324}{m} + 0.086\right)$,并且描述了灰飞虱种群序贯抽样的 Iwao 模型:$T_n = 25n \pm 15.4\sqrt{n}$。研究结果为田间灰飞虱的准确抽样调查和有效防治提供了科学依据。

关键词 灰飞虱,聚集度指标法,Iwao 回归法,空间分布格局,序贯抽样

Spatial distribution pattern and sampling technology of small brown planthopper, *Laodelphax striatellus*, on wheat in the Yellow River valley of China

ZHANG Qiang-Xiang[1,2**] REN Ying-Dang[3] LIN Ke-Jian[2***] HOU Mao-Lin[2]
LU Chuan-Tao[3] LIU Hong-Yan[3] HUANG Xing-Qi[4]
(1. College of Life Science, Yunnan University, Kunming 650091, China; 2. State key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100193, China; 3. Institute of Plant Protection, Henan Academy of Agricultural Science, Zhengzhou 450002, China; 4. Biotechnology and Genetic Germplasm Institute, Yunnan Academy of Agricultural Science, Kunming 650223, China)

Abstract The population dynamics of the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* Fallén, were investigated in the Yellow River valley, Henan Province in 2009 and 2010. Based on field investigations, the spatial distribution pattern, theoretical sampling number and sequential sampling technique were determined using the methods of assembling indices and advanced Iwao regression analysis. The results show that 3rd and 4th instar nymphs were the main overwintering stages, and that the overwintering period began in the last ten-days of November. In April of the following year, the overwintering population peaked in wheat fields, with respective densities of 22/m^2 and 43/m^2 for adults and nymphs being recorded. Adults migrated into paddy fields in mid-May, reaching peak densities of over 450 /m^2. The results indicate that overwintering population in wheat fields tend to have a clustered spatial distribution. The theoretical sampling

* 资助项目:转基因生物新品种培育国家科技重大专项(2009ZX08011-009B)、公益性行业(农业)科研专项(201003031)。
**E-mail: qxzhang123@tom.com
***通讯作者,E-mail:kjlin@ippcaas.cn
收稿日期:2010-11-10,接受日期:2010-12-20

equation was $N = \frac{t^2}{D^2}\left(\frac{0.324}{m} + 0.086\right)$ and the sequential sampling model was $T_n = 25n \pm 15.4\sqrt{n}$. These results provide a scientific basis for accurate sampling and effective management of this pest.

Key words　small brown planthopper, assembling indices, Iwao regression analysis, spatial distribution pattern, sequential sampling

灰飞虱(small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* Fallén)属同翅目飞虱科,是水稻上常见的 3 种飞虱之一,其分布遍及全国各地,以长江流域和华北稻区发生较多(孙黛珍等,2006)。除了以成、若虫刺吸方式为害水稻、麦类作物外,还能够传播多种病毒病害,如水稻条纹叶枯病、黑条矮缩病等病害,且传毒为害造成的损失远大于直接刺吸为害(孙广仲等,2006)。近年来,随着农业种植结构调整和耕作制度的改变,加上气候变暖等诸多因素的影响,灰飞虱发生量逐年增多,且带毒率高,导致水稻条纹叶枯病、黑条矮缩病等病害发生范围和面积不断扩大(陈思宏等,2003;孙国俊等,2008)。河南、山东境内的沿黄河水稻种植区是我国重要的优质粳稻生产基地,1995 年以来,该病在沿黄稻区的发生逐年加重(王书玉等,2003)。2004 年,河南省发生面积达 7.3 万 hm^2(孙炳剑等,2005),并且 2005、2006 年连续大发生,已成为影响沿黄稻区优质粳稻生产的主要限制因素。

小麦是沿黄流域灰飞虱的重要越冬寄主植物,其田间虫量及防治策略与稻田灰飞虱及水稻条纹叶枯病的发生程度息息相关(陆彦等,2002)。为有效控制灰飞虱的迁移扩散和发生危害,深入了解其在越冬场所小麦田的时空分布动态,意义重大。周强等(2001,2003)对褐飞虱、白背飞虱在稻田中空间结构,朱金良等(2007)对浙北小麦田灰飞虱种群的空间分布型进行了初步分析。为了探明沿黄稻区灰飞虱越冬种群的时空动态,本试验研究了麦田灰飞虱越冬代种群的时间和空间分布型、理论抽样数及序贯抽样技术等,并对麦田灰飞虱种群的实际发生情况进行了校验,研究结果将为指导治虫防病,切断灰飞虱生活史,保障水稻安全生产提供科学依据。现将研究结果报道如下。

1　材料与方法

1.1　调查地点及调查方法

实验调查分别在原阳县太平镇、河南省现代农业开发基地、武陟县乔庙乡三地进行,随机选取 10 块小麦田,麦田前茬作物为水稻。所选小麦品种为矮抗 58,各调查田块面积均为 0.2 hm^2。

本实验于 2009 年 12 月至 2010 年 6 月下旬期间选取上述麦田进行调查,在每块小麦田采用完全随机抽样方法,调查 20 个样点,每个样点规划为 1 m^2,共调查 200 个样点。调查每隔 7 d 进行 1 次,调查期间详细记录每个样方中各虫态(成虫、若虫)数量。采用扫网法调查麦田灰飞虱越冬种群的数量,每 30 次网收集 1 次(捕虫网杆长 1 m,网口直径 32 cm,扫网摆动幅度为 180°),调查时尽量避开雨天,且调查期间所有田块均未喷洒任何化学农药。

1.2　模型检验及分析方法

1.2.1　聚集度指标的检验　将田间调查取得的数据制成频次分布表,计算各个样方的平均虫量($\bar{x}$)和方差(S^2),参照前人的检验方法,计算各个聚集度指标,从而判断空间分布型(徐汝梅和成新跃,2005;唐启义和冯明光,2007)。对于 10 组调查资料,选用以下 4 种聚集度指标进行测定。

①丛生指标(I):$I = \frac{S^2}{\bar{x}} - 1$;式中,当 $I<0$ 时为均匀分布,当 $I=0$ 时为随机分布,当 $I>0$ 时为聚集分布。

②Ca 指标:$Ca = \frac{\left(\frac{S^2}{\bar{x}} - 1\right)}{\bar{x}}$;式中,当 $Ca<0$ 时为均匀分布,当 $Ca=0$ 时为随机分布,当 $Ca>0$ 时为聚集分布。

③m^*/m 指标:即平均拥挤度与平均密度的比值,平均拥挤度 $m^* = \bar{x} + \frac{S^2}{\bar{x}} - 1$,$\frac{m^*}{m} = \frac{m^*}{\bar{x}}$;式中,当 $m^*/m<1$ 时为均匀分布;当 $m^*/m=1$ 时为随机分布;当 $m^*/m>1$ 时为聚集分布。

④扩散系数(C):$C = \frac{S^2}{\bar{x}}$;式中,当 $C<1$ 时为均匀分布,当 $C=1$ 时为随机分布,$C>1$ 时为聚集分布。

1.2.2 线性回归方程检验 采用 Iwao 提出的生物种群空间分布 m^*-m 回归分析法(Baker *et al.*,2001;Graybeal and Smith, 2001):$m^*=\alpha+\beta m$,式中 m 为平均虫口密度,m^* 为种群平均拥挤度;α 为基本聚集度指标,β 为密度-聚集度指标。

1.2.3 理论抽样数 根据 Iwao 的理论抽样原理(Iwao,1968),建立理论抽样数模型:

$$N=\frac{t^2}{D^2}\left[\frac{(\alpha+1)}{m}+(\beta-1)\right],$$

式中,t 为一定概率下的置信水平(当 $P=95\%$ 时,t 取 1.96),D 为各虫态抽样允许误差,m 为平均虫口密度。将直线回归式 $m^*=\alpha+\beta m$ 所得的常数 α,β 值代入上述理论抽样模型中,即可求出田间理论抽样数(丁岩钦,1994;虞轶俊等,2007)。

1.2.4 序贯抽样 采用 Iwao 提出的序贯抽样理论(Iwao, 1975),建立新序贯抽样模型,其通式为:

$$T_{1(0)}=nm_0\pm t\sqrt{n\left[(\alpha+1)m_0+(\beta-1)m_0^2\right]},$$

式中,T_0 为累计虫数的下限计算值,T_1 为累计虫数的上限计算值,n 为田间抽样数,m_0 为临界密度或防治阈值,t 为一定概率下的置信水平(兰星平,2007)。

2 结果与分析

2.1 麦田灰飞虱种群动态变化

灰飞虱在沿黄流域主要以少量 3、4 龄若虫进行越冬,次年 3 月下旬,随着气温回升,越冬代灰飞虱开始在麦田及野生禾本科杂草上活动,在 4 月中旬其种群数量达到全年第 1 个高峰,成、若虫虫量分别为 22 头/m^2、43 头/m^2;接着在 5 月初达到产卵高峰期;第一代灰飞虱成虫在 5 月中旬迅速上升达到第 2 个高峰,最大虫量为 376 头/m^2,此时成虫陆续向附近的水稻秧田迁飞,迁入高峰时虫量达 450 头/m^2 以上,秧田灰飞虱增加虫量与麦田灰飞虱减少虫量间呈显著负相关,Pearson 相关系数达 0.95;随后,伴随着水稻秧苗转移至大田,灰飞虱虫量急剧下降(图 1)。

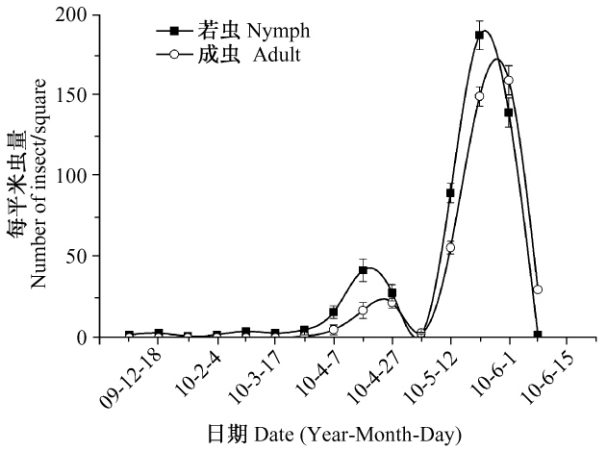

图 1 麦田灰飞虱种群动态变化图

Fig. 1 Population dynamic change of the small brown planthopper in wheat filed

2.2 灰飞虱越冬种群的空间分布格局

2.2.1 聚集度指标的检验结果 根据 10 块小麦田中灰飞虱越冬种群调查数据,以每样块为 1 组计算各样块的平均虫量($\bar{x}$)和方差(S^2),再计算出各种聚集度指标(表 1)。

从表 1 中可以看出,调查时期内 I 指标、Ca 指

表 1 灰飞虱越冬种群在不同样方中的聚集度指标

Table 1 Assembling indices of the small brown planthopper in different sampling plots

Sample	$\bar{x}$	S^2	m^*	I	Ca	m^*/m	C
1	10.800	17.545	11.425	0.625	0.058	1.058	1.625
2	9.967	15.275	10.500	0.533	0.053	1.053	1.533
3	8.100	6.990	7.963	-0.137	-0.017	0.983	0.863
4	9.167	9.178	9.168	0.001	0.000	1.000	1.001
5	10.500	12.397	10.681	0.181	0.017	1.017	1.181
6	11.867	13.361	11.993	0.126	0.011	1.011	1.126
7	10.533	15.430	10.998	0.465	0.044	1.044	1.465
8	11.533	14.809	11.817	0.284	0.025	1.025	1.284
9	10.233	9.909	10.201	-0.032	-0.003	0.997	0.968
10	11.867	14.326	12.074	0.207	0.017	1.017	1.207

标数值多数均大于 0,运用 $\frac{m^*}{m} < 1$、$I < 0$、$Ca < 0$、$C < 1$ 为均匀分布;$\frac{m^*}{m} = 1$、$I = 0$、$Ca = 0$、$C = 1$ 为随机分布;$\frac{m^*}{m} > 1$、$I > 0$、$Ca > 0$、$C > 1$ 为聚集分布等各项标准判定,说明灰飞虱越冬代成虫在小麦田中呈聚集分布。

2.2.2 线性回归方程检验结果　根据平均拥挤度(m^*)与平均密度(m)的回归关系,可得 m^* 与 m 的直线回归方程为:$m^* = -0.676 + 1.086m$(SD = 0.29,$P < 0.0001$,$R = 0.97$)(图 2)。

回归方程的相关系数 $R = 0.97$,表明麦田灰飞虱越冬代成虫的平均拥挤度和平均密度间呈极显著相关,回归方程成立。式中 $\beta = 1.086 > 1$,表明灰飞虱越冬种群在小麦田中呈聚集分布。

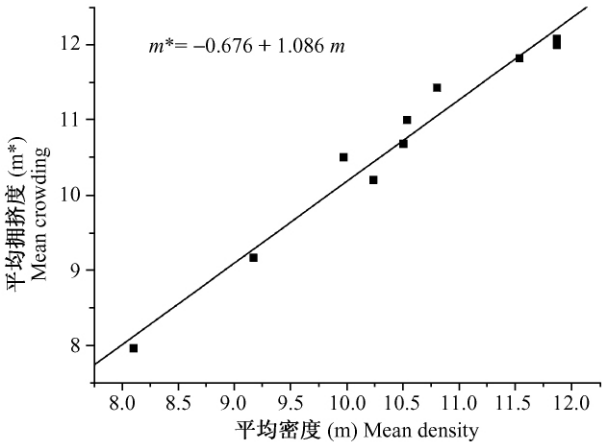

图 2　灰飞虱越冬种群的空间分布格局

Fig. 2　Spatial patterns of the overwinter population of the small brown planthopper

2.3　灰飞虱越冬种群的理论抽样数

在确定 $m^* = \alpha + \beta m$ 的直线回归方程基础上,根据 Iwao 理论抽样数理论,推算出灰飞虱越冬种群的理论抽样数模型为 $N = \frac{t^2}{D^2}\left(\frac{0.324}{m} + 0.086\right)$,由上式计算出麦田灰飞虱越冬代成虫在不同密度下的理论抽样数(表 2)。

表 2　麦田灰飞虱越冬种群不同密度下的理论抽样数

Table 2　Theoretical sampling numbers of the small brown planthopper at different densities

	不同虫口密度(m)的抽样数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.1	157	95	74	64	58	54	51	49	47	45
0.2	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9
0.3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

2.4　灰飞虱越冬种群的序贯抽样技术

由 $m^* - m$ 模型序贯抽样分析曲线模式图可知(图 3),在田间抽样过程中,若累积虫口数量超过 T_1,可认定为防治对象田;若累积虫口数量低于 T_0 时,可认定为非防治田;若累积虫量介于 T_1 与 T_0 之间时,刚应该继续调查,直到抽样数达到最高抽样数 N 为止。

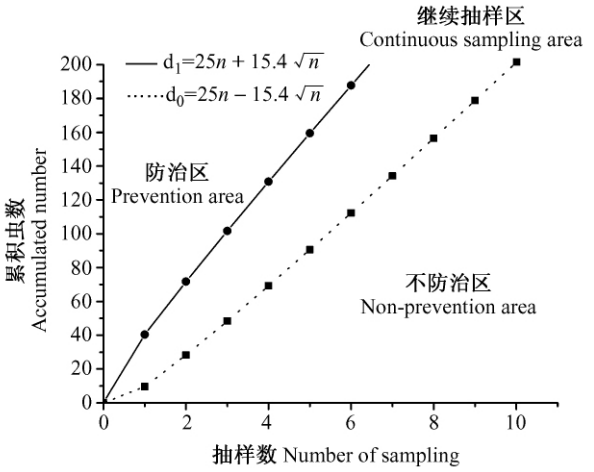

图 3　$m^* - m$ 模型序贯抽样分析模式图

Fig. 3　$m^* - m$ sequential sampling analysis pattern

3　讨论

根据沿黄流域灰飞虱种群治理的多年跟踪调查,水稻秧田期受害会导致最大减产,损失十分严重(汤爱兵和黄龙元,2007),已成为影响沿黄稻区优质粳稻生产的主要限制因素。小麦是越冬代和第一代灰飞虱的主要寄主植物,也是灰飞虱迁往水稻秧田的重要桥梁,研究表明每年 4 月上中旬

为灰飞虱越冬代种群发生高峰期，其田间发生虫量直接影响到5月中旬第一代灰飞虱成虫向附近水稻秧田转移的发生程度，故这一时期小麦田的灰飞虱虫量与水稻秧田的发生量密切相关，严重影响水稻秧苗的安全（张德胜等，2009）。因此，做好小麦田等虫源地灰飞虱种群的监测与防治，对于控制水稻田灰飞虱的发生和两大病毒病的流行具有十分重要意义。

空间分布型是种群在空间相对静止时的散布状况，它揭示了种群个体某一时期内的行为习性、环境因子等叠加影响，以及种群选择环境的内禀特性和空间结构异质性程度（唐启义和冯明光，2007）。在估计种群密度，以及决定必需防治密度的抽样调查过程中，空间分布型的确定是必不可少的。本文利用几种聚集度指标的对比，以及采用了改进的 Iwao 种群空间分布模型（徐汝梅等，1984，1988；蔡晓明等，1991；兰星平和杜群红，1991），对沿黄流域麦田中灰飞虱越冬种群空间分布格局进行了研究。结果表明灰飞虱越冬代成虫在麦田中呈聚集分布型（张芸和宋祖舜，2008；张正新和胡必利，2004）。聚集的原因主要与环境因子（田间小气候的空间异质性、农药非均匀施撒等）有关，也与其成虫活动能力及产卵习性有关，但具体原因仍有待进一步研究。

本文明确了沿黄稻区麦田灰飞虱越冬种群的时空动态，根据其聚集分布的特性，田间抽样调查方法可采用棋盘式、双平行线等多种取样技术，并在初步判定调查田块的发生程度后，依据最适理论抽样数模型 $N = \frac{t^2}{D^2}\left(\frac{0.324}{m} + 0.086\right)$，就可计算出麦田不同虫口密度下所需的最适抽样数，为快速、准确地调查飞虱种群数量，制定防治方案，保障水稻安全生产提供了技术支撑。

致谢：河南农业大学植物保护学院 2007 级实习生冯建路、张涛协助野外调查工作，特此致谢。

参考文献（References）

Baker MB, Ferro DN, Porter AH, 2001. Invasions on large and small scales: management of a well-established crop pest, the Colorado potato beetle. *Biological Invasions*, 3 (3): 295—306.

蔡晓明，尚玉昌，阎桂云，陈济丁，阎浚杰，1991. 大白菜上七星瓢虫空间格局及抽样技术研究. 生态学杂志，10 (5): 6—11.

陈思宏，马学文，于涌鑫，2003. 灰飞虱发生动态及其主要防治措施. 江苏农业科学，(增刊): 13—14.

丁岩钦，1994. 昆虫数学生态学. 北京：科学出版社. 21—104.

Graybeal ME, Smith CH, 2001. Bicriteria decision model for farm management of the Colorado potato beetle: development and validation. *Environmental Modeling and Assessment*, (6): 67—76.

Iwao S, 1968. A new regression method for analyzing the aggregation pattern of animal populations. *Res. Popul. Ecol.*, 10 (1): 1—20.

Iwao S, 1975. A new method of sequential sampling to classify population relative to a critical density. *Researches on Population Ecology*, (16): 281—288.

兰星平，2007. 关于 Iwao m^* —m 回归模型在昆虫种群空间分布型的应用分析. 贵州林业科技，35 (1): 1—8.

兰星平，杜群红，1991. 昆虫空间分布型的估值序贯抽样与应用. 森林病虫通讯，(2): 46—48.

陆彦，孙国才，刘勤生，高渊，2002. 防治麦田灰飞虱控制水稻条纹叶枯病试验. 植保技术推广，(10): 3—5.

孙炳剑，袁虹霞，刑小萍，李洪连，2005. 水稻条纹叶枯病暴发原因分析与综合防治技术. 河南农业科学，(5): 39—41.

孙黛珍，江玲，张迎信，程遐年，王春明，翟虎渠，2006. 8 个水稻品种的条纹叶枯病的抗性特征. 中国水稻科学，20 (2): 219—222.

孙广仲，陈志清，郁祖良，张大友，2006. 灰飞虱传播的病毒病发生流行特点及耕作与栽培措施调整对策. 上海农业科技，(2): 108—109.

孙国俊，蒋林忠，董波，季敏，李粉华，邓九胜，2008. 江苏金坛地区水稻条纹叶枯病防控技术探析. 现代农业科技，(7): 71—73.

汤爱兵，黄龙元，2007. 水稻条纹叶枯病的大发生与灰飞虱的防治. 安徽农学通报，13 (4): 195.

唐启义，冯明光，2007. DPS 数据处理系统—实验设计、统计分析及数据挖掘. 北京：科学出版社. 470—473.

王书玉，张全东，杨永升，彭东，王习强，郭战备，谢社香，2003. 水稻条纹叶枯病的发生与防治. 河南农业科学，(10): 71.

徐汝梅，成新跃，2005. 昆虫种群生态学—基础与前沿. 北京：科学出版社. 3—18.

徐汝梅，刘来福，丁岩钦，1984. 改进的 Iwao m^* —m 模型. 生态学报，4 (2): 1—8.

徐汝梅，刘来福，丁岩钦，1988. 基于改进的 Iwao m^* —m 模型的抽样方法（Ⅱ）—序贯抽样和零频率抽样法. 生物

数学学报,3(1):33—39.

虞轶俊,汪恩国,陈林松,徐建章,2007. 烟粉虱成虫在西兰花菜地种群分布型及抽样技术. 浙江农业学报,19(6):444—448.

张德胜,张振臣,杨永升,乔奇,王永江,秦艳红,2009. 河南省沿黄稻区水稻条纹叶枯病发生规律及防治技术. 植物保护学报,36(4):310—314.

张芸,宋祖舜,2008. 稻象甲成虫空间分布型及抽样技术研究初探. 上海农业科技,(1):100.

张正新,胡必利,2004. 陕南地区小卵象的生活史及其空间分布和抽样技术研究. 西北林学院学报,19(1):82—84.

周强,张润杰,古德祥,2003. 白背飞虱在稻田内空间结构的分析. 昆虫学报,46(2):171—177.

周强,张润杰,古德祥,邹寿发,徐起峰,2001. 大尺度下褐飞虱种群空间结构初步分析. 应用生态学报,12(2):249—252.

朱金良,王华弟,陈跃,徐云,吴降星,蔡国梁,2007. 麦田灰飞虱种群空间分布型及抽样技术探讨. 中国农学通报,23(8):382—386.