

麦田一代灰飞虱 (*Laodelphax striatellus* Fallén) 若虫的时空分布

王 瑞 ,翟保平* ,孙晓洋

(南京农业大学昆虫学系 ,南京 210095)

摘要 :灰飞虱 (*Laodelphax striatellus* Fallén) 近年来严重危害水稻并传播病毒病 ,麦田是其越冬并虫量扩增后向稻田迁移的重要场所 ,麦田一代灰飞虱也是防治的重点对象之一。利用半方差函数模型分析了麦田一代灰飞虱若虫在时间序列上的空间结构 ,得出了空间自相关的各项属性与虫口密度或环境因素的关系 :长、短变程与密度无关 ,保持相对稳定 ;块金常数与密度成正相关 (比例效应的存在) ;随机性强度与密度成三次多项式曲线相关 ;各向异性主要由于麦田行株距的差别所决定。并用一般克立金方法作出预测表面图 ,按时间顺序排列 ,将灰飞虱若虫在田间的时空分布情况直观地显示出来进行比较分析 ,得出灰飞虱若虫具有比较稳定的时空分布 ,认为食料充足、生境孤立、自身行动力较弱是形成这种情况的主要原因 ,此外包括天敌在内的一些次要因素也对其种群分布产生影响。

关键词 :灰飞虱 ,若虫 ,地统计 ,时空分布

文章编号 :1000-0933 (2007)11-4536-11 中图分类号 :Q145 文献标识码 :A

Spatio-temporal dynamics of the first generation larvae of *Laodelphax striatellus* Fallén in wheat field

WANG Rui ,ZHAI Bao-Ping* ,SUN Xiao-Yang

Department of Entomology ,Nanjing Agricultural University ,Nanjing 210095 ,China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (11) 4536 ~ 4546.

Abstract :The small brown plant hopper (SBPH) ,*Laodelphax striatellus* Fallén becomes an important pest of rice plant since it causes server damage by direct feeding and transmits virus disease recent years. Results from field surveys show that winter wheat field is an important place for overwintering , and multiplication of spring population of SBPH. The more important is the population of SBPH in winter wheat field supplied the SBPH source to disperse to rice fields. To better understand the population development and to improve the field sampling and chemical spraying strategy , we investigated the spatio-temporal dynamics of the first generation larvae of SBPH in winter wheat field. We analyzed the spatial structures of the first generation larvae of SBPH in the time series by using the geostatistical methods. To fit the semivariogram models for the every instars of the larvae in the wheat field , the spherical model and the Gaussian model were best for the most situations while only a few datasets best fitted the hole effect and the exponential model. We analyzed the relations between the characteristics indices of the semivariograms and ecological meaning of the larval density or environment factors. There were no significant correlation between one of the indices , “the major/minor range ” and the density of SBPH. Both ranges

基金项目 :国家 “973 ”资助项目 (2006CB102007) ;国家 “十一五 ”支撑计划资助项目 (2006BAD08A01)

收稿日期 :2006-12-07 ;修订日期 :2007-09-06

作者简介 :王瑞 (1982 ~) ,男 ,山西壶关人 ,硕士 ,主要从事昆虫生态学研究。E-mail :gede6666@sina.com.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail :bpzhai@njau.edu.cn

Foundation item :The project was financially supported by national grants ,China (No. 2006CB102007 and 2006BAD08A01)

Received date 2006-12-07 ;**Accepted date** 2007-09-06

Biography :WANG Rui ,Master ,mainly engaged in insect ecology and pest forecasting. E-mail :gede6666@sina.com.cn

kept relatively constant ; The “nugget ” was positively correlated with the density because a proportional effect existed between them. Furthermore , we calculated an indices “random strength ” from the nugget to sill ratio for the semivariograms to correct the proportional effect and to provide a more accurate view of the spatial variability structure. We found the correlation between the random strength and the density fitted a cubic polynominal curve. Obvious anisotropy appeared in most datasets , and it likely due to the difference of plant spacing and row spacing. We drawn the predicted surface maps with the Ordinary Kriging method and illustrated in the time order to provide a visible presentation of the spatio-temporal distribution of the larval SBPH population. By analyzing those maps , we found that the spatial distribution of larval SBPH was very stable over time , most probably , due to the sufficient food、the insular habitation and the weak movement ability. In addition , factors such as predators in the field also affected the distribution of the larval SBPH population.

Key Words : *Laodelphax striatellus* ;larvae ;geostatistics ;spatio-temporal distribution

灰飞虱 *Laodelphax striatellus* (Fallén) 属同翅目 , 飞虱科。国内分布以长江流域和北方稻区较多。灰飞虱能刺吸取食水稻、小麦、大麦、李氏禾和双穗雀稗等多种禾本科植物 , 还可传播水稻黑条矮缩病、水稻条纹叶枯病、小麦丛矮病和玉米矮缩病等病害。其传毒为害造成的损失远大于直接刺吸为害^[1]。2000 年以来 , 由灰飞虱传播的水稻条纹叶枯病在江淮稻区发生日益严重 2004、2005 年连续暴发成灾 , 造成严重减产甚至绝收^[2]。

苏南地区灰飞虱一年发生 6 代。1 代灰飞虱由越冬代成虫在麦田或禾本科杂草产卵孵化产生 , 主要在麦田为害 , 并于近麦收时节羽化为成虫 , 大量迁移到水稻秧田或本田。这一代是灰飞虱虫量扩增的重要时期 , 也是向水稻扩散传毒的桥梁时期 , 在其治理策略 “根治一代 , 控制二代 ” 中是重点对象^[1-3]。灰飞虱时间上的消长规律在以往的研究中已有涉及^[4-6] , 但是对其空间分布的研究很少 , 特别是时空动态的研究尚属空白。因此 , 对麦田一代灰飞虱的时空分布研究 , 不仅有助于实施更合理有效的防治策略 , 还对其在水稻上乃至整个发生时期的时空动态研究有理论价值。

地统计学是专门描述空间分布类型以及对未取样点进行估值的应用统计学的分支^[7] , 它以区域化变量理论为基础 , 以半方差函数为主要工具 , 研究空间数据的随机性和结构性并进行最优无偏内插估计 , 或者模拟这些数据的离散性和波动性^[8]。不仅能避免经典统计方法如比较频次分布、聚集度指标、扩散型指数等忽略研究对象的空间位置 , 得到的结果很大程度上依赖于取样单位的大小等缺点 , 而且能最大限度地利用调查到的信息 , 充分利用稀疏或无规律的空间数据 , 作出更为精确的估计 , 有效地避免系统误差^[7-9,10]。本文运用地统计学方法研究时间序列上灰飞虱种群的空间结构 , 模拟灰飞虱种群空间分布 , 以期深入了解灰飞虱在田间的时空动态规律 , 为灰飞虱的预测预报和防治决策提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验田块与调查方法

调查田块是位于江苏省南通市金沙镇的一块行距 26.7cm 株距 10cm 的麦田 , 做网格取样 , 共 128 个点 , 样点坐标精确记录 , 间距约 3 ~ 5m , 每样点包括麦苗 3 株 , 麦株成行方向接近东南-西北方向 , 约为顺时针偏北 114.9° (图 1)。该麦田未经农药处理。

调查从 2006 年 5 月 11 号灰飞虱一代低龄若虫大量出现时开始 , 每 5d 进行 1 次 , 到 5 月 26 日最后一次结束共 4 次 27 日麦田收割。用瓷盘拍虫取样 , 即时分龄记录每样点上的灰飞虱若虫数量。记数后将虫拍回原样点附近 , 以减少对其田间自然分布的影响。

1.2 地统计和其他统计分析

关于地统计的基本理论和方法 , 已经有较多专著或文献进行过介绍^[7-12]。地统计分析及其 ESDA (探索性空间数据分析) 用 ArcGIS8.3 的地统计模块实现。ESDA 过程中主要进行如下几项检查 : 用直方图和正态 QQ 图检查数据分布 ; 用直方图、半方差函数云 (semivariogram cloud) 、voronoi 图 (voronoi map) 等工具寻找全局或局部异常值以确定数据是否有记录错误或取样误差 ; 用 Trend 工具检查可

能存在的趋势 ;用 semivariogram cloud 考察空间结构 ,看是否存在空间变异以及空间变异的方向性。

本研究中空间估值采用一般克立金 (Ordinary Kriging)方法 ,此方法并不要求数据的正态性 ,而只是基于二阶平稳假设或本征假设^[8,11,13] ,故即使某些数据并非正态分布 ,仍然可以采用。对非正态分布的数据不进行正态化转换的另一个原因是 :逆转换后得到的估计有可能不是最优的^[9] ,本试验中的数据正是这种情况。

趋势是由线形模型描述的与空间坐标相关的确定性效果。相比由一些不易预测的因素造成的空间自相关而言 ,趋势是由确定性因素造成的比较大范围的变异^[9,11,13]。如何处理趋势要基于研究的目的 ,对趋势感兴趣就可以专注于对趋势的探究 ,而如果要研究区域化变量的自相关 ,就要去除趋势 ,这也是满足二阶平稳假设或本征假设所必要的。一般情况下 ,分析数据时将其变异分成趋势和随机误差两部分是很困难的 ,二者的表现经常容易被混淆^[9,13]。本试验用 SAS 的回归分析过程检验空间数据一次或二次趋势的显著性 ,趋势显著的数据在去除趋势后进行分析 ,不显著的则使用原始数据^[14~16]。

半方差函数的模型确定之前 ,需要选择并确定理论模型、各向同性还是各向异性、滞后距离、容忍角度和容忍距离、搜索范围和搜索形状等项目和参数。用 ArcGIS GA 分析时在 ESDA 基础上进行检验和交叉检验 ,比较模型的下列参数 :平均误差 (ME)、均方根误差 (RMSE)、平均标准误差 (ASE)、标准化平均误差 (MSE)、标准化均方根误差 (RMSSE)来最终确定模型及其参数。无偏性需要 ME 和 MSE 绝对值接近 0 ,最优性需要 ASE 与 RMSE 值最接近或者 RMSSE 接近 1 ,回测的准确性则需要 RMSE 尽量小^[13]。实际操作中要综合考虑各项参数以得到最适合的选择。

各向异性半方差函数在各个方向上拟合的半方差函数参数不尽相同 ,不同方向有不同的变程 ,其中最短的称为短变程 ,最长的称为长变程。各向异性因数^[17] (短变程与长变程之比)和长变程方向 (以与正北的顺时针偏角表示)可将各向异性的程度和方向量化 (各向异性因数越小表明各向异性的程度越大)。本研究中为了考虑各方向上灰飞虱种群的空间变异 ,全部采用各向异性半方差模型。

块金常数 ,基台值 ,变程以及随机性强度等空间相关属性与飞虱密度间的关系用 Microsoft Excel 的图表和统计功能显示和分析。

按时间序列的各龄飞虱在田间分布情况用克立金插值图直观地显示出来以利于分析 ,而插值图之间的相似性用两图逐个样点虫量的 pearson 相关系数来定量表示^[18]。

2 结果与分析

2.1 ESDA 及原始数据处理

2.1.1 数据分布检验及趋势分析

Histogram 图和 Normal QQ 图对数据分布情况的检验结果表明 :多数数据属于远正态分布 ,只有少数数据近正态分布。

Trend 工具对数据趋势的检查结果发现 :多数数据可能存在空间趋势。

用 SAS 回归分析 (PROC 过程 ,backward 方法)检验其二阶或一阶趋势的显著性 (趋势以回归关系式 $D = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2y + \beta_3x^2 + \beta_4y^2 + \beta_5xy$ 表示 ,其中 D 表示灰飞虱密度 ,x、y 分别为东西方向和南北方向上的空间坐

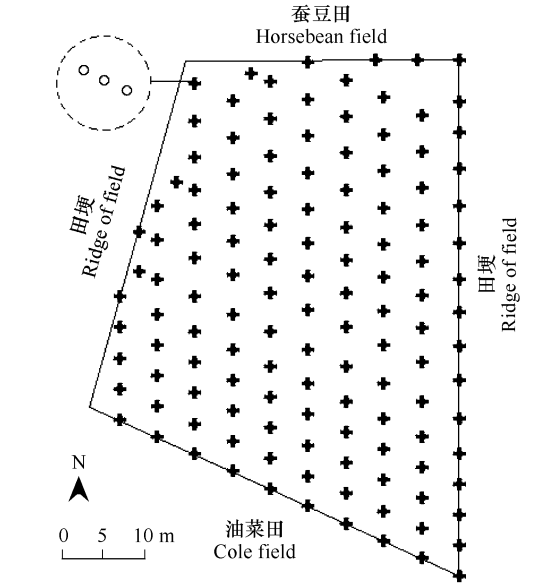


图1 样点设置与周边环境

Fig 1 Sample sets and the surroundings

“+”表示样点 shows sample ,“O”表示麦株 shows wheat plant

标,显著水平 0.05),表 1 为数据趋势的 SAS 回归检验结果,只有两组数据趋势不显著,故对其他趋势显著或极显著的数据,在拟合半方差函数模型之前先去除趋势。

表 1 SAS 回归分析结果
Table 1 The SAS regression results 日期与虫龄

日期 (Month-day) 与虫龄 Date and instar	SAS 回归分析结果 The result of SAS regression analysis	趋势显著性 The trend's significance
05-11 1 st	$p < 0.0001$, $R\text{-Square} = 0.2300$, $Adj\ R\text{-Sq} = 0.1984$	极显著 Very significant
05-16 1 st	$p < 0.0001$, $R\text{-Square} = 0.1521$, $Adj\ R\text{-Sq} = 0.1384$	极显著 Very significant
05-16 2 nd	$p = 0.0002$, $R\text{-Square} = 0.1627$, $Adj\ R\text{-Sq} = 0.1350$	极显著 Very significant
05-21 1 st	$p = 0.0006$, $R\text{-Square} = 0.1133$, $Adj\ R\text{-Sq} = 0.0990$	极显著 Very significant
05-21 2 nd	$p = 0.0161$, $R\text{-Square} = 0.0644$, $Adj\ R\text{-Sq} = 0.0494$	显著 Significant
05-21 3 rd	$p = 0.2706$, $R\text{-Square} = 0.0508$, $Adj\ R\text{-Sq} = 0.0116$	不显著 Not significant
05-26 1 st	$p = 0.2715$, $R\text{-Square} = 0.0507$, $Adj\ R\text{-Sq} = 0.0115$	不显著 Not significant
05-26 2 nd	$p = 0.0175$, $R\text{-Square} = 0.0443$, $Adj\ R\text{-Sq} = 0.0367$	显著 Significant
05-26 3 rd	$p = 0.0001$, $R\text{-Square} = 0.1534$, $Adj\ R\text{-Sq} = 0.1327$	极显著 Very significant
05-26 4 th	$p = 0.0047$, $R\text{-Square} = 0.0827$, $Adj\ R\text{-Sq} = 0.0680$	极显著 Very significant

不存在趋势的两组数据先做相应的变换使其近正态化后进行半方差函数模型拟合,与其用原始数据拟合的半方差函数模型比较,结果显示(表 2)5 月 21 日 3 龄数据正态化后 MSE 值变大,即其模型无偏性变差,5 月 26 日 1 龄数据正态化后 MSE 、 $RMSE$ 、 $RMSSE$ 绝对值均变大,模型明显变差。也就是说这些数据正态化之后拟合的模型不如或者不明显好于原始数据拟合的模型,故仍用原始数据进行分析。

2.1.2 异常值及空间结构探索

Histogram, semivariogram cloud, voronoi map 等工具探寻异常值,未发现全局异常值,即无明显数据记录或录入错误;用 semivariogram cloud 考察空间结构,发现存在空间变异且空间变异存在方向性,有必要分析其各个方向上的空间相关性。

表 2 原始数据与正态化数据拟合比较
Table 2 Prediction parameters of models by original data and normalized data

日期 (Month-day) & 虫龄 Date & Instar	原始数据的预测参数 Prediction parameters by original data			正态化数据预测参数 Prediction parameters by normalized dada		
	MSE	$RMSE$	$RMSSE$	MSE	$RMSE$	$RMSSE$
05-21 3 rd	0.01426	3.965	1.001	0.01723	3.944	0.9918
05-26 1 st	-0.0006963	3.336	1.129	0.004607	3.39	1.132

两组数据所做的正态化变换分别是:5 月 21 日 3 龄,进行 $\ln(x+1)$ 转换,5 月 26 日 1 龄,进行 Cox-Box $(x+1)$ 转换(系数 0.16)
The normalized transformation performed on the two datas :the 3rd instar at 21th of May, $\ln(x+1)$ transformation; the 1st instar at 26th of May, Cox-Box $(x+1)$ transformation (parameter 0.16)

2.2 灰飞虱若虫的空间自相关分析

2.2.1 各向异性半方差函数

对数据进行各向异性半方差函数拟合(表 2),总虫量少于 50 的不予处理。列出了模型的 3 项主要预测参数,可以看出 MSE 绝对值接近 0, $RMSSE$ 接近 1,模型的无偏性和最优化性较好,估计回测准确性的 $RMSE$ 取最小者,但其值大小不一,基本上与虫量成正相关,虫量越大的数据,其不规则性和不可测性越大,这是符合实际的。拟合最多的模型是球状模型,高斯模型次之,指数模型和空穴模型最少(表 2)。5 月 26 日的 1 龄数据拟合为比较特殊的空穴模型,这种模型用来描述有周期性或者多斑块状的空间现象^[9],对此比较合理的解释是:1 龄若虫的分布在很大程度上代表了卵块的分布,而 5 月 26 日作为最后一次调查,其 1 龄若虫所对应

的卵块所产时间相对较迟 ,之前已有若干批的成虫产卵 ,时间上比较靠后的成虫在产卵时 ,只能在已经存在卵块的区域间隙选择比较最适合的产卵场所 ,这种情形重复若干次 ,卵块分布就具有了一定的周期性 ,而其对应的 1 龄若虫的空间分布相应地具有了周期性。

分析数据的各向异性强度和方向 (表 3) ,大部分的各向异性因数小于 0.5 ,也就是说其各向异性程度很显著^[7] ,唯一一组没有各向异性的数据 ,其空间自相关是比较特殊的空穴模型 ,各向异性的数据 ,其长变程方向从 114.6°到 162.0° ,接近于麦株成行的方向 114.9° (即图 1 中空心圆排列的方向) ,这表明在这个方向大部分的飞虱若虫空间自相关范围与其他方向相比较大。由于飞虱若虫与成虫相比行动能力有限 ,而麦田行距大于株距使得麦株行方向相比其他方向更利于若虫行动与互相影响 ,故该方向上飞虱密度的相关距离较长 ,这应该是空间自相关具有如此方向性的主要原因。当然 ,其方向性并不严格麦株行方向相同 ,这可能是由于其他一些因素比如麦苗长势 ,田块湿度等的影响。

表 3 灰飞虱若虫的半方差函数模型及其参数

Table 3 Semivariogram models for SBPH larva and the parameters of them

日期 (Month-day)& 虫龄 Date & Instar	模型 Model	块金常数 Nugget	基台值 Sill	长变程 Major range	模型主要预测参数		
					Prediction parameters of model		
					MSE	RMSE	RMSSE
05-11							
1 st	Gauss ^a	74.128	148.4044	31.977	0.0037	9.983	0.9982
2 nd	Spher ^b	5.5519	5.7832	31.623	0.009419	2.49	1.019
all	Gauss	94.921	159.51	31.977	0.002624	10.94	0.9876
05-16							
1 st	Spher	71.105	92.5726	31.759	0.0003389	10.1	1.066
2 nd	Spher	16.114	29.6486	31.977	0.007908	4.731	0.9716
all	Spher	118.2	131.674	31.623	-0.01041	11.95	1.024
05-21							
1 st	Gauss	10.986	11.27804	31.759	0.003996	3.467	1.005
2 nd	Gauss	24.604	35.6631	31.977	0.005659	5.554	1.001
3 rd	Spher	10.495	18.7745	29.908	0.01426	3.965	1.001
all	Spher	34.503	83.402	31.977	0.004489	7.776	1.012
05-26							
1 st	Hole ^c	7.9866	11.7579	59.933	-0.0006963	3.336	1.129
2 nd	Gauss	21.184	24.3523	31.623	0.0007914	4.977	1.031
3 rd	Spher	39.833	56.726	31.977	0.003924	7.186	0.9949
4 th	Spher	4.9517	6.4532	31.977	0.01426	2.54	1.02
5 th	Spher	2.5029	3.3156	31.977	0.01041	1.781	1.001
all	Expon ^d	137.85	186.493	31.906	0.009671	13.89	1.027

^a高斯模型 Gaussian model $\gamma(h) = C_0 + (C - C_0) \times [1 - \exp(-3h^2/a^2)]$

^b球状模型 Spherical model $\gamma(h) = C_0 + (C - C_0) \times [1.5 \times (|h|/a) - 0.5 \times (|h|/a)^3]$

^c空穴模型 Hole effect $\gamma(h) = C_0 + (C - C_0) \times [1 - \sin(|h|/a)/|h|]$

^d指数模型 Exponential model $\gamma(h) = C_0 + (C - C_0) \times [1 - \exp(-3|h|/a)]$

2.2.2 空间自相关各属性与灰飞虱密度的关系

灰飞虱各龄若虫及若虫总量随时间不断变动 (图 6) ,在调查期间 ,1 龄若虫虫量从高峰逐步减少 ,2 龄若虫虫量增加至高峰后开始减少 ,3 ~ 5 龄虫量一直增加 ,未到或刚到高峰就结束调查 ,若虫总量则在一个平衡水平上下波动。而各龄若虫的半方差函数参数也随调查时间而变动。

表 4 主要数据的各向异性参数

Table 4 Anisotropy parameters of primary datasets			
日期 (Month-day) & 虫龄 Date & Instar		各向异性因数 Anisotropy factor	长变程方向 Direction of major range
05-11	1 st Q	0.14	115.5
05-16	1 st Q	0.20	120.6
05-16	2 nd	0.14	114.6
05-21	1 st Q	0.16	162.0
05-21	2 nd	0.14	114.1
05-21	3 rd	0.15	115.6
05-26	1 st Q	1.00	9.0
05-26	2 nd	0.39	114.9
05-26	3 rd	0.14	114.9
05-26	4 th	0.14	115.5

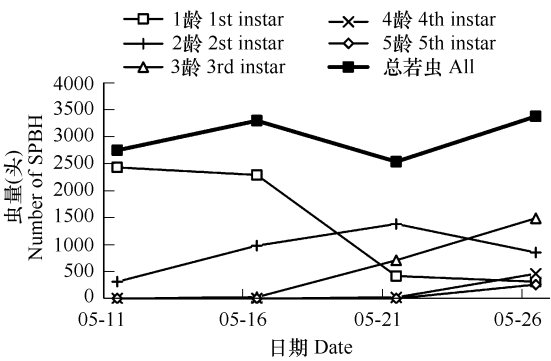


图 6 灰飞虱若虫量随时间变化
Fig. 6 Temporal dynamics of SBPH larva number

将每次调查各龄若虫的半方差函数的参数 :长变程、短变程、块金常数、随机性强度分别与虫口密度做散点图 (图 7 ~ 图 10) ,比较相关性 ,并在可能的情况下拟合其相关曲线。结果显示 :主变程、副变程与密度之间没有相关关系 (图 7、图 8) ,其值基本维持在某个常数附近 ,长短变程与密度散点图中各有 1 个特异点离开其他点较远 ,该点为 5 月 26 日 1 龄数据 ,模型拟合为空穴效应 (如表 2 图 5c) ,且不表现各向异性 (如表 3 中 ,各向异性因数为 1) ,属于特殊情况。块金常数与密度之间拟合为二次曲线关系 (图 9) ,随密度增加而增加 ,二者成显著的正相关 ,这在地统计学中称做比例效应 ,比例效应的存在常常会掩盖空间自相关与密度的真实关系 [8] ,而将块金常数除以基台值得到随机性强度可以消除比例效应 ,随机性强度与密度之间拟合为三次曲线 (图 10)。

长变程、短变程分别维持在某个常数附近 ,表明各个方向上的聚集范围保持着相对稳定 ,并不随密度变化而变化 ,随机性强度 (1-结构性强度)与密度之间先递减后递增的曲线关系 (图 10)说明 :在密度较低的情况下由于灰飞虱若虫个体之间影响很小 ,空间上的随机性就较强 ,而随着密度的增大 ,飞虱个体之间影响增加 ,空间上随机性减弱而结构性增强 ,当密度增加到一定程度使飞虱比较拥挤的时候 ,同一个体受到的多个其他个体的影响会有一些互相抵消 ,那么随之空间上的结构性又减弱而随机性增强。可能是由于处在食料充足、比较孤立的生境 (如图 1 ,两面为其他作物 ,两面为田埂)中 ,且灰飞虱若虫行动能力相对较弱造就了其如此的空间结构特点。

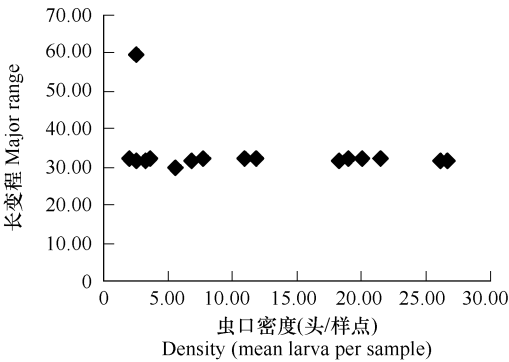


图 7 长变程-密度散点图
Fig. 7 Scatter plot of major range-density

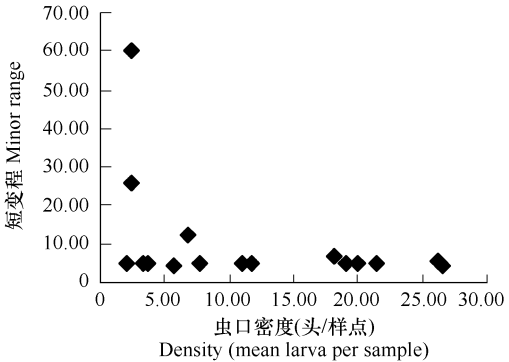


图 8 短变程-密度散点图
Fig. 8 Scatter plot of minor range-density

2.3 灰飞虱若虫空间分布的时间动态。

2.3.1 各龄若虫时空分布比较

将每次调查各虫龄的数据用 Ordinary Kriging 方法插值出表面图 (图 11)。由于灰飞虱若虫各龄历期一般

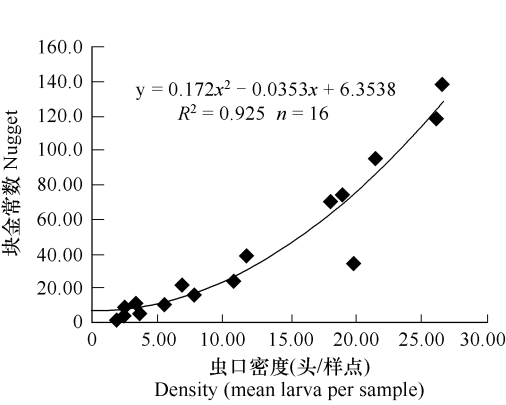


图9 块金常数-密度相关

Fig. 9 The relationship between nugget and density

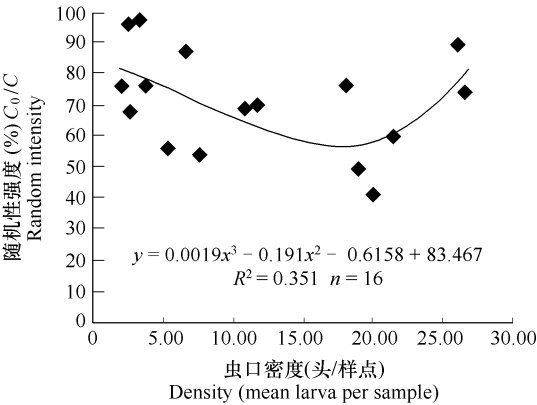


图10 随机性强度-密度相关

Fig. 10 The relationship between random intensity and density

为2~5d^[45],而调查间隔为5d,故第1次调查的1龄若虫在第2次调查时大部分已经长为2龄,第3次调查时大部分长为3龄,依次类推。则前一次调查的某龄若虫的分布与后一次调查的下一龄的若虫分布之间的差别,从很大程度上代表了该龄若虫在调查间隔的时间内的空间分布变化情况。从直观上可以看出5月11日的1龄与5月16日的2龄、5月21日的3龄、5月26日的4龄之间,5月16日的1龄与5月21日的2龄、5月26日的3龄之间,5月21日的1龄与5月26日的2龄之间均有比较强的相似性。定量分析,上述数据每相邻两个之间的 Pearson 相关系数分别为 $r=0.47$ 、 $r=0.36$ 、 $r=0.39$ 、 $r=0.42$ 、 $r=0.48$ 、 $r=0.40$ (相关性不存在的显著水平取0.01),都是比较稳定和比较高的。这说明虽然调查期间随着若虫虫龄的增长,虫量在不断变化,但其聚集形状和聚集范围相对稳定。空间分布的相对稳定,是前面得出的半方差函数的长、短变程以及随机性强度在调查期间保持相对稳定的直观显示。图中还可以看出飞虱的聚集有明显的方向性,这与其半方差函数的各向异性相对应。本研究中灰飞虱若虫空间分布相对稳定的原因与其空间结构的形成原因相同,都是由于麦田中食料充足、生存环境孤立,且灰飞虱若虫行动能力较弱。

调查时间比较靠后的低龄飞虱的分布,5月21日1龄和26日1龄、2龄的数据,其分布与其他数据有较大差异,可能主要是由其上一代成虫对产卵地点的选择行为所导致的。

2.3.2 其他因素对若虫分布的影响

将灰飞虱总若虫与天敌(主要是各种蜘蛛,少量捕食蜂和寄生蜂)的插值图按调查时间对应排列进行比较(图12),并通过 Pearson 相关系数量化。发现二者的相似性呈现动态变化, Pearson 相关系数也是从0到0.40,从0.40到0,再从0到0.18。说明天敌与飞虱在空间上有动态跟随现象,而这也说明了该麦田中天敌对灰飞虱若虫的密度分布有一定的影响。

灰飞虱若虫密度变化除了天敌影响,麦苗长势以及气候等因素也会起一定作用。

3 讨论

3.1 本试验中的灰飞虱在到达成虫期之前就因麦田收割而结束调查,故研究对象限于若虫。由于食料充足,生境相对孤立,自身行动能力相对较低等原因导致了空间自相关范围相对稳定和以及与其对应的时空分布也相对稳定,而个体之间的相互影响使得随机性强度与密度之间存在一定的曲线关系。

3.2 本试验所选样方中有相当数量的边缘样本,应当存在边缘效应。但是目前对边缘效应的研究绝大部分是关于高等植物或脊椎动物的,边缘效应对无脊椎动物影响的研究很不系统,还处在数据积累阶段^[19-20]。且近年来的研究表明,边缘效应的影响具有相当的复杂性,其对生物存在正负两方面的影响,不仅不同物种对边缘的反应模式不同,还受到空间、时间和强度,以及交错群落的类型等的影响^[19-21-22]。本研究中灰飞虱若虫的空间分布表现为边缘少于田内部(图12),为负效应,这可能是由于研究虫态为若虫、田块空间尺度较小,或

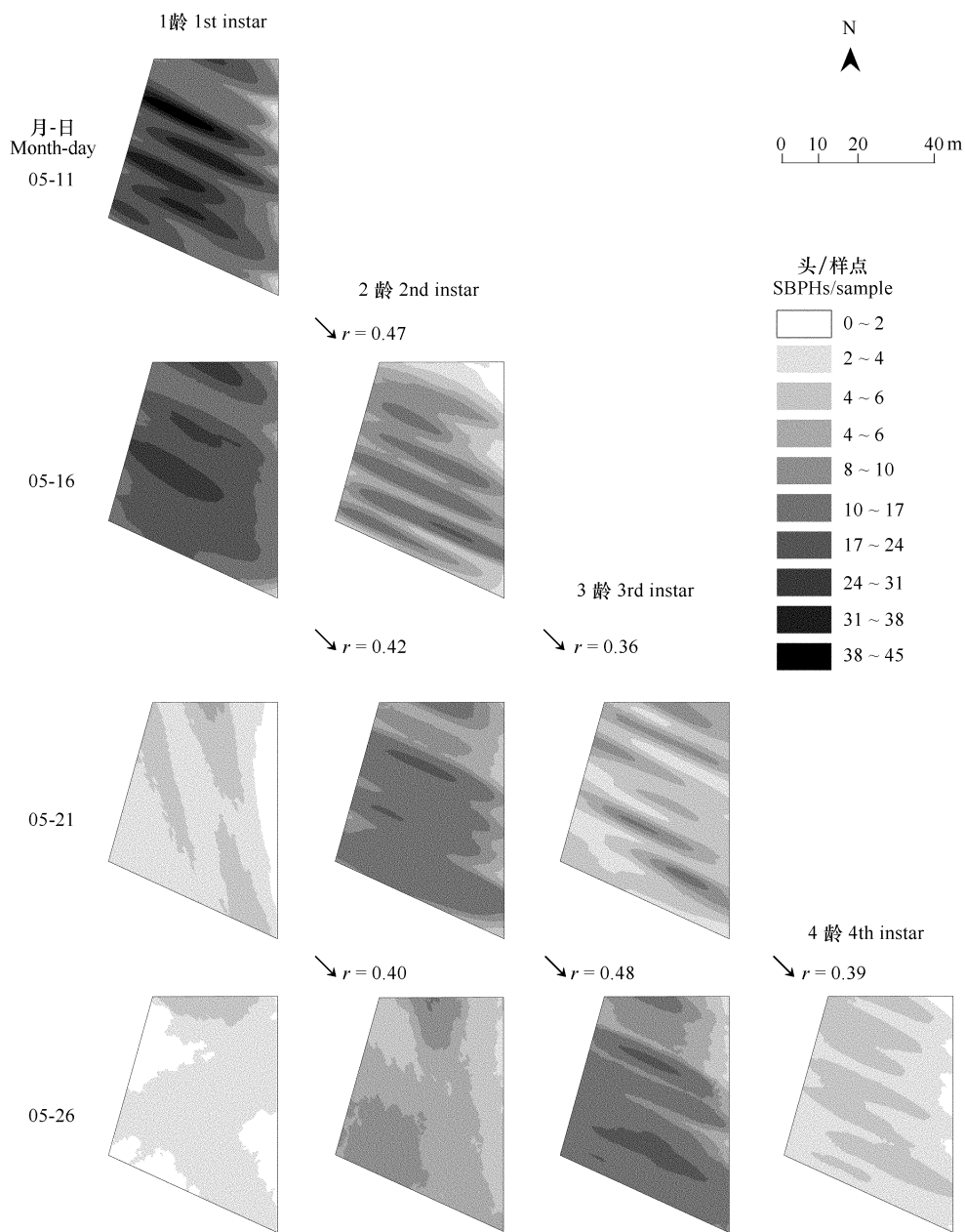


图 11 灰飞虱各龄若虫时空分布比较

Fig 11 Comparison of spatio-temporal distributions of SBPH instars

者与周围田埂及作物有关。国内关于边缘效应对棉田害虫影响的研究也发现,边缘效应对不同代棉铃虫的影响不同,第2代和第4代为正效应,而第3代为负效应,全年为负效应^[22]。除昆虫纲和水生无脊椎动物外无脊椎动物的现有资料大都表明边缘正效应^[9],本研究中天敌(主要为蜘蛛)的空间分布亦大体如此(图12)。总之,限于研究对象、田块尺度、设计重点等原因本试验中边缘效应的表现并不显著,而对其的系统研究应另行设计试验来进行。

3.3 近年来的实践和研究中证明,麦田一代灰飞虱的成虫由于会随着麦子黄熟大量迁至秧田、本田或杂草,防治相对困难,而在其若虫期采用适当的防治措施,效果比较明显^[23~27]。本研究的田块和时间段中,麦田一代灰飞虱若虫呈现比较稳定的空间分布,这不仅从理论上表明了在此时期对其进行有效防治的部分机理,还为进一步提高防效提供指导。Precision IPM 或 Site specific IPM 要求不仅在适当的时间,而且在适当的地点进

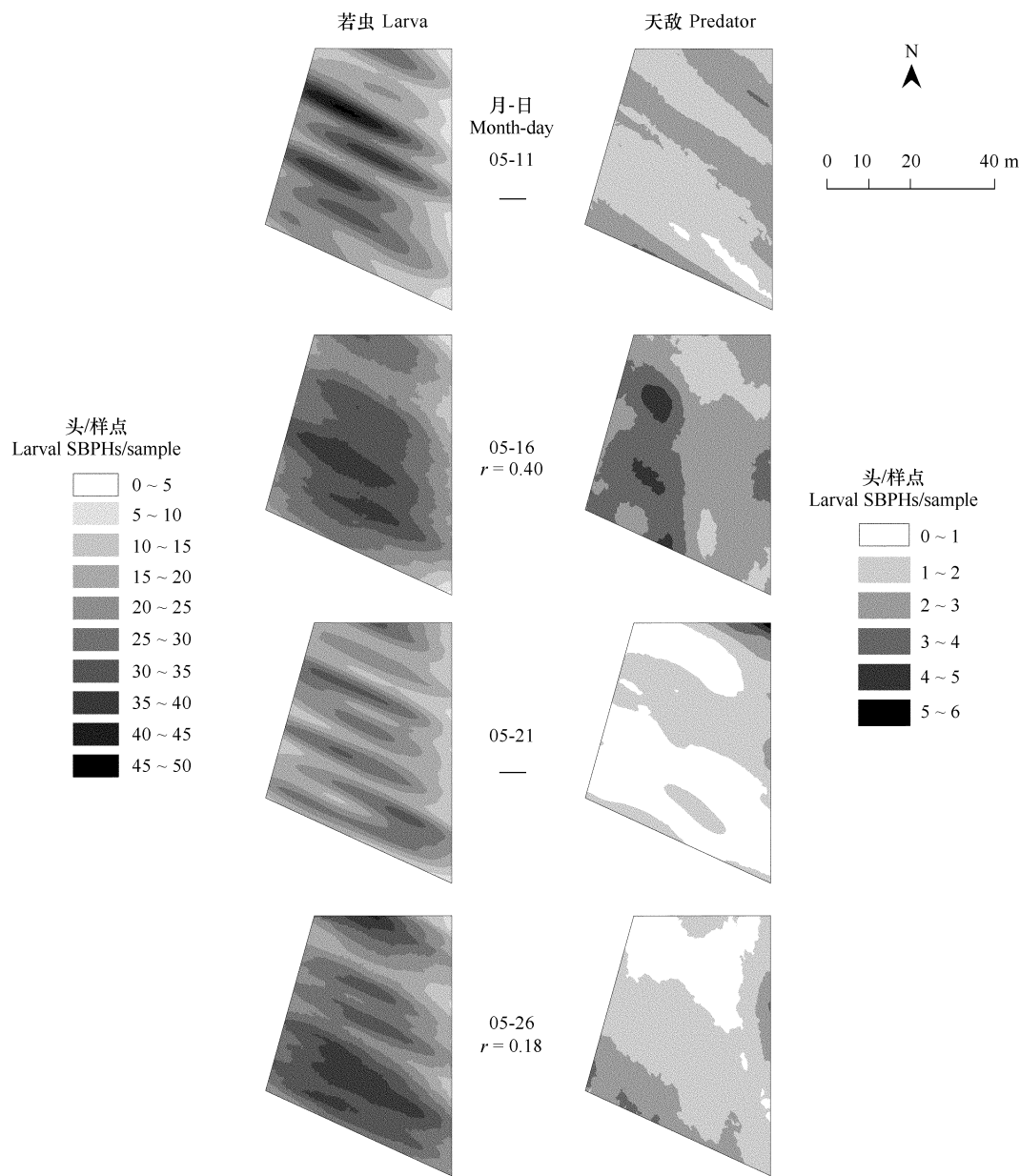


图 12 灰飞虱总若虫与天敌的时空相关

Fig. 12 Spatio-temporal correlation between SBPH larvae and predators

行农药处理 这种策略可以降低用药量、延缓害虫抗药性和保护天敌 ,成为近年来国外 IPM 策略新的发展方向之一 [28~30]。Precision IPM 的重点目标是要定量害虫的空间变异并作出其密度分布图 ,地统计方法理所当然地成为其工具 [28,30]。本研究利用地统计方法作出灰飞虱若虫时间序列上的空间分布图 ,应用于指导其防治 ,亦是对 Precision IPM 策略的一个初步尝试。

3.4 越冬代灰飞虱以及二代以后在杂草、水稻秧田或本田上的灰飞虱 ,其取食条件 ,生境等与本试验中的麦田一代有差别 ,空间自相关和时空分布会有着一些新的特点 ,灰飞虱成虫担负着在不同寄主间扩散、寻找合适产卵场所的重任 ,其空间自相关和时空分布会有着更加明显的差别。这些都是深入研究的方向 ,而可以预想的目标是 ,最终得出灰飞虱在一个完整生活史上的时空分布动态规律 ,籍此对其防治发挥作用。

References :

[1] Ding J H , Su J Y. Agricultural entomology. Beijing :China Agriculture Press ,2002.

[2] Zhang J F , Gong L G , Qu Y , *et al.* The 5、6 generations of SBPH severely damage the spike of rices in Changshu in 2004. China Plant Protection , 2005 ,25 (4) :39.

[3] Wu X F , Zhang G B , Lin M S , *et al.* Outbreak reasons and control strategies of Rice Stripe. Chinese Agricultural Science Bulletin ,2005 ,21 (2) : 237 — 245.

[4] Pu M H. A preliminary study on the small brown plant hopper (*Delphacodes striatella* fallén) in south kiangsu. Acta Entomologica Sinica ,1963 ,12 (2) :117 — 136.

[5] Liu Q X , Zhang G F , Sun W Q. The occurrence and biological characters of three species of rice plant hoppers in Henan Province. Entomological Knowledge ,1982 ,19 (5) :1 — 5.

[6] Liu X D , Zhai B P , Liu C M. Outbreak reasons of *Laodelphax striatellus* population. Entomological Knowledge ,2006 ,43 (2) :141 — 146.

[7] Liebhold A M , Rossi R E , Kemp W P. Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. Annu. Rev. Entomol ,1993 ,38 : 303 — 327.

[8] Wang Z Q. Application of Geostatistics in Ecology. Beijing :Science Press ,1999.

[9] Zhou G F , Xu R M. Biogeostatistics. Beijing :Science Press ,1997.

[10] Zhou Q , Zhang R J , Gu D X. Review of geostatistics in applied insect population spatial structure. Zoological Research ,1998 ,19 (6) :482 — 488.

[11] Hou J R , Guo G Y. Statistical Prediction of Mineral Deposits and the theories and application of geostatistics. Beijing :Metallurgical Industry Press ,1993. 312 — 313.

[12] Wang Z J , Li D M , Shang H W , *et al.* Theories and methods of geostatistics and its their application in insect ecology. Entomological Knowledge , 2002 ,39 (6) :405 — 411.

[13] Johnston K , Hoef J M , Konstantin K , *et al.* Using ArcGIS Geostatistical Analyst. Redlands :ESRI Press ,2001.

[14] Paul E B , Shelby J F. Dynamics in the spatial structure of *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera : Chrysomelidae). Environmental Entomology , 2001 ,30 (2) :350 — 364.

[15] Paul E B , Shelby J F , Zane S. Spatial and temporal dynamics colorado potato beetle (Coleop-tera : Chrysomelidae) in fields with perimeter and spatially targeted insecticides. Environmental Entomology ,2002 ,31 (1) :149 — 159.

[16] Wright R J , Devries T A , Young L J *et al.* Geostatistical analysis of the small-scale distribution of European Corn Borer (Lepidoptera :Crambidae) larvae and damage in whorl stage corn. Environmental Entomology ,2002 ,31 (1) :160 — 167.

[17] Moral F J. Analysis of the spatio-temporal distribution of *Helicoverpa armigera* Hb. in a tomato field using a stochastic approach. Biosystem Engineering ,2006 ,93 (3) :253 — 259.

[18] Park Y L , Obrycki J J. Spatio-temporal distribution of corn leaf aphids (Homoptera :aphididae) and lady beetles (Coleoptera :Coccinellidae) in Iowa cornfields. Biology Control ,2004 ,31 (2) :210 — 217.

[19] Lian Z M , Yu G Z. Edge effect and biodiversity. Chinese Biodiversity ,2000 ,8 (1) :120 — 125.

[20] Yu X D , Luo T H , Zhou H Z , *et al.* Influence of edge effect on diversity of ground-dwelling beetles across a forest-grassland ecotone in Wolong Natural Reserve , Southwest China. Acta Entomologica Sinica ,2006 ,49 (2) :277 — 286.

[21] Wang R S , Ma S J. Edge Effect and Its Application in Economic Eology. Chinese Journal of Ecology ,1985 ,4 (2) :38 — 42.

[22] Ge F , Men X Y , Su J W , *et al.* Edge effect on the dynamics of pests and natural enemies in cotton agroecosystems. Chinese Journal of Applied Ecology ,2004. 91 — 94.

[23] Lu Y , Sun G C , Liu Q S , *et al.* Studies on controlling rice stripe virus by controlling *Laodelphax striatella* in wheat fields. Plant Protection Technology and Extension ,2002 ,22 (10) :3 — 5.

[24] Zhu X L , Teng J P , Han G , *et al.* Occurrence of Smaller Brown Planthopper in Wheat Field and the Damage of Leaf Spot to Wheat. Journal of Anhui Agricultural Sciences ,2004 ,32 (2) :261 — 263.

[25] Tai D L , Li Y , Mei A Z , *et al.* Causation Analysis on Outbreak of Small Brown Planthopper in the Rice Field in 2004 and the Control Measures. China Plant Protection ,2005 ,25 (3) :33 — 35.

[26] Sun B J , Yuan H X , Xing X P , *et al.* Causation Analysis on Outbreak and the Integrated Control Technique of Rice Stripe Virus. Journal of Henan Agricultural Sciences ,2005 ,2005 (5) :39 — 41.

[27] Ren S M , Li W Q , Zhang A H , *et al.* Study on Control Techniques of Small Brown Planthopper in the Wheat Field. Anhui Agricultural Science

Bulletin ,

[28] Fleischer S J , Blom P E , Weisz R. Sampling in Precision IPM : When the Objective Is a Map. *Phytopathology* , 1999 , 89 (11) : 1112 — 1118.

[29] Nyrop J P , Binns M R , Werf W. Sampling for IPM Decision Making : Where Should We Invest Time and Resources ? *Phytopathology* , 1999 , 89 (11) : 1104 — 1111.

[30] Hughes G. Sampling for Decision Making in Crop Loss Assessment and Pest Management : Introduction. *Phytopathology* , 1999 , 89 (11) : 1080 — 1083.

参考文献：

[1] 丁锦华 苏建亚. 农业昆虫学. 北京 : 中国农业出版社 2002.

[2] 张景飞 龚林根 瞿燕 等. 2004 年常熟市 5、6 代灰飞虱严重为害水稻穗部. 中国植保导刊 2005 25 (4) 39.

[3] 吴雪芬 张国彪 林茂松 等. 水稻条纹叶枯病暴发原因及其防治对策研究. 中国农学通报 2005 21 (2) : 237 ~ 245.

[4] 浦茂华. 苏南灰稻虱 (*Delphacodes striatella* Fallén) 的初步研究. 昆虫学报 1963 12 (2) : 117 ~ 136.

[5] 刘芹轩 张桂芬 孙万启. 河南省三种稻飞虱的发生和生物学特性. 昆虫知识 1982 19 (5) : 1 ~ 5.

[6] 刘向东 翟保平 刘慈明. 灰飞虱种群暴发成灾原因剖析. 昆虫知识 2006 43 (2) : 141 ~ 146.

[8] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用. 北京 : 科学出版社 1999.

[9] 周国法 徐汝梅. 生物地理统计学. 北京 : 科学出版社 1997.

[10] 周强 张润杰 古德祥. 地质统计学在昆虫种群空间结构研究中的应用概述. 动物学研究 1998 19 (6) : 482 ~ 488.

[11] 侯景儒 郭光裕. 矿床统计预测及地质统计学的理论与应用. 北京 : 冶金工业出版社 1993. 312 ~ 313.

[12] 王正军 李典谟 商晗武 等. 地质统计学理论与方法及其在昆虫生态学中的应用. 昆虫知识 2002 39 (6) : 405 ~ 411.

[19] 廉振民 于广志. 边缘效应与生物多样性. 生物多样性 2000 8 (1) : 120 ~ 125.

[20] 于晓东 罗天宏 周红章 等. 边缘效应对卧龙自然保护区森林-草地群落交错带地表甲虫多样性的影响. 昆虫学报 2006 49 (2) 277 ~ 286.

[21] 王如松 马世骏. 边缘效应及其在经济生态学中的应用. 生态学杂志 1985 4 (2) 38 ~ 42.

[22] 戈峰 门兴元 苏建伟 等. 边缘效应对棉田害虫和天敌种群的影响. 应用生态学报 2004 15 (1) 91 ~ 94.

[23] 陆彦 孙国才 刘勤生 等. 防治麦田灰飞虱控制水稻条纹叶枯病试验. 植保技术与推广 2002 22 (10) : 3 ~ 5.

[24] 朱祥林 滕金平 韩国华 等. 麦田灰飞虱的发生及其传播的条纹叶枯病对小麦的危害. 安徽农业科学 2004 32 (2) 261 ~ 263.

[25] 邵德良 李瑛 梅爱中 等. 2004 年稻田灰飞虱重发原因分析与控制对策. 中国植保导刊 2005 25 (3) 33 ~ 35.

[26] 孙炳剑 袁虹霞 邢小萍 等. 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 2005 2005 (5) 39 ~ 41.

[27] 任寿美 李文清 张爱华 等. 麦田灰飞虱防治技术研究. 安徽农学通报 2006 12 (12) : 131 ~ 132.