

基于地统计学的新疆棉田烟粉虱 (*Bemisia tabaci* (Gennadius)) 危害动态与时空分布

马宁远¹, 王惠卿², 张伟³, 依萨克·司马义¹, 罗亮¹, 马德英^{1,*}

(1. 新疆农业大学农学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 吐鲁番地区农业技术推广中心, 新疆 吐鲁番 838000;
3. 鄯善县农业技术推广中心, 新疆 鄯善 838200)

摘要:应用地统计学(GS)的原理与方法研究了外来入侵有害生物烟粉虱(*Bemisia tabaci* (Gennadius))为害新疆棉田的时空动态,并与经典统计学进行对比分析。两种方法一致表明,烟粉虱成虫在空间上呈聚集分布的格局,而各时期成虫的聚集程度依据空间变异随机程度所占的比例不同而不同。经频次分布检验,以零频率法参数拟合的负二项分布来表达其空间分布型最为合适。运用GS的分析方法,进一步得到种群分布面积变化与扩散的趋势,并依此对昆虫种群的扩散模型进行模拟。棉田烟粉虱成虫在田间7~8月份均存在一定的空间相关性,随机程度为19.22%~49.99%;空间相关距离(相关程)在一个月从32m急速增至6372m,随后在2000~3000m的范围波动。从整个发生过程看出,烟粉虱从越冬场所顺风侵入大田后,迁飞扩散在很大程度上受风向的影响,属于典型的借助风力扩散的昆虫,其在棉田的垂直分布则与吐鲁番地区独特的暖温带大陆性干旱荒漠气候特征有关。顺风扩散时多从棉株上部叶片开始危害,而逆风扩散时从棉株中、下部叶片危害。烟粉虱在棉株上建立稳定种群后,中、下部虫口密度要略高于上部,这是烟粉虱对吐鲁番地区特殊气候的适应。

关键词:烟粉虱(*Bemisia tabaci* (Gennadius));地统计学;危害动态;时空分布;新疆

文章编号:1000-0933(2008)06-2654-09 中图分类号:Q142, Q145, Q968 文献标识码:A

The damage dynamics and spatio-temporal distribution of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in cotton field based on GS analysis in Xinjiang

MA Ning-Yuan¹, WANG Hui-Qing², ZHANG Wei³, YI sake. Simayi¹, LUO Liang¹, MA De-Ying^{1,*}

1 College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China

2 Turpan Agricultural Technology Promotion Center, Turpan 838000, China;

3 Shanshan Agricultural Technology Promotion Center. Shanshan 838000, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(6): 2654 ~ 2662.

Abstract: Using Geographic Information System (GIS) technology and geostatistics (GS) methods followed by simulation, we analyzed the spatial structure and distribution of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in Xinjiang. We also conducted a parallel analysis using traditional statistics. Results from the two analyses revealed that the spatial distribution patterns of *B. tabaci* (Gennadius) on cotton were aggregated; that the aggregation degree fluctuated over time; and that the proportion of spatial variation had a random component. Using frequency distribution goodness of fit tests, the negative binomial distribution with its parameter set at zero frequency had the closest fit for predicting this species' spatial distribution in Xinjiang. Results

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30660032);新疆教育厅重点资助项目(XJEDU2006I24);吐鲁番地区科技局资助项目(2004)

收稿日期:2007-03-20; **修订日期:**2007-12-12

作者简介:马宁远(1981~),男,新疆乌鲁木齐人,硕士生,主要从事昆虫生态学研究. E-mail: maningyuan@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mdyxnd@163.com

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30660032), Key project funded by Xinjiang Educational Office (No. XJEDU2006I24), Project Funded by Turpan Science and Technology Bureau (No. 2004)

Received date: 2007-03-20; **Accepted date:** 2007-12-12

Biography: MA Ning-Yuan, Master candidate, mainly engaged in insect ecology. E-mail: maningyuan@163.com

from the GS analysis of the variation in distribution areas and of adult diffusion patterns suggested that the adults of *B. tabaci* (Gennadius) were spatially correlated in cotton fields. The degree of randomness ranged from 19.22% to 49.99%; the distance range of spatial dependence varied from 32 min to 6372 min July and then fluctuated between a distance of 2000m and 3000m. *B. tabaci* (Gennadius) populations initially invade cotton fields downwind from their over-wintering areas. Thereafter, the distribution was largely affected by wind direction. It is a classic case of insect distribution caused by winds. Vertical distribution on cotton plants of *B. tabaci* (Gennadius) was influenced strongly by the effects of the warm temperate zone and of the continental arid desert climate in Turpan. The population initially damages the top leaves, and then proceeds to feed on leaves in the middle and bottom part of cotton plants in the field of downwind, whereas the damage will start with the middle and bottom part of cotton plants in the field of upwind. Once a population is established, its success is based on its adaptability of *B. tabaci* (Gennadius) to the characteristic climate of the Turpan region.

Key Words: *Bemisia tabaci* (Gennadius); geostatistics; spatial distribution; population dynamics

随着烟粉虱(*Bemisia tabaci* (Gennadius))在世界范围的大发生,其经济重要性日益凸显^[1,2]。20 世纪末,烟粉虱传入新疆。1998 年首先在乌鲁木齐市室内的一品红花卉上发现烟粉虱,随后在石河子、哈密、库尔勒、克拉玛依等棉产区的花卉上都采到此虫^[3]。1999 年在吐鲁番长绒棉研究所棉花试验田发现由于烟粉虱的为害,棉花、棉絮布满蜜露,纤维受到严重污染,煤污病(*Capnodium* spp.)也十分严重。自 2002 年,烟粉虱大范围入侵新疆棉田,2005 年在各种作物上发生面积扩大至 80km²,表明烟粉虱已经适应了新疆吐鲁番地区的特殊气候条件和生态环境,危害正逐渐由设施农业向大田农业发展,尤其是对新疆的棉花种植业产生极大的威胁。

了解害虫的区域性空间分布格局及发生动态是进行害虫宏观管理的前提和基础。只有掌握害虫的空间动态和时间动态,才能进一步揭示其暴发的机制并对其未来的发生进行预测^[4]。目前,在我国运用地统计学的方法对农业害虫的区域性空间分布及动态进行研究的报道已见多例^[5~10],但是对于烟粉虱的研究鲜见报道。本文以吐鲁番地区在温室越冬的烟粉虱为研究对象,通过地统计学(GS)的方法获得其迁入棉田的空间分布模拟图并明确烟粉虱在空间的分布格局及其动态规律。

1 材料与方法

供试棉花品种:抗虫棉 99B,种植方式为哈密瓜套种棉花,7 月初哈密瓜收获后,棉株进入旺盛生长期,此时是烟粉虱进入棉田为害的主要时期。试验观察期间未使用任何杀虫剂。

1.1 取样方法

试验观察地点在新疆吐鲁番地区的鄯善县,2005 年 7 月 4 日至 9 月 1 日在烟粉虱危害严重的温室四周,利用 GPS 标定调查样点。距虫源温室分别设置大尺度 500m、中尺度 200m 和小尺度 50m 处(根据上年初步考察的烟粉虱扩散距离和速度确定样点设置距离),4 个方向各标定 10 个,共 120 个样点。每点调查 3 株棉花,分别在上、中、下部位(距植株顶部 10、40、70cm)各取一片叶,每隔 3d 调查一次叶片上的烟粉虱成虫数。

1.2 分析方法

1.2.1 空间结构分析和空间分布模拟

根据区域化变量的理论^[11],在空间上昆虫种群数量是区域性变量。区域性变量在空间的分布主要由两部分组成,即空间结构性成分(用偏基台值(C)与基台值($C_0 + C$)的比表示其所占比例的大小)和随机性成分(用块金系数与基台值之比表示其所占比例的大小,反映了块金方差占总空间异质性(Spatial heterogeneity)变异的大小,具有重要意义^[12,13])。其中空间结构性成分由空间相关而产生的,而随机性成分来源于随机性误差。上述的基台值($C_0 + C$)和块金值(C_0)均可以描述空间异质性程度,其中基台值表示系统属性或区域化变量最大变异,基台值越大表示总的空间异质性程度越高;块金值表示随机部分的空间异质性。较大的块金值表明较小尺度上的某种过程不可忽视。本研究中空间结构分析应用协方差或半方差函数进行,对于成虫的空

间结构,使用半方差图和协方差图两种方法进行模拟。模拟模型主要有3种,包括球型模型、指数模型和高斯模型,具体选择时主要根据模拟误差最小的原则。

本研究的空间模拟所用插值方法选用普通克立格法(Ordinary kriging),普通协同克立格法(Ordinary Cokriging)和简单克立格法(Simple kriging)三者中误差最小者。空间模拟的结果将用于空间估值,空间估值采用邻域搜索法。

空间分布图的生成是以误差最小者作为插值方法,得到成虫虫口密度等值线方式的空间分布图。运用环评系统分析软件 EIAA 制成风频、风速玫瑰图。

空间结构分析是在地理信息系统软件 ArcGIS9.0 (ESRI Inc. 2004) 的支持下进行的;空间分布图是由 Surfer8.03 (Golden Software Inc. 2003) 生成的。

1.2.2 交叉验证

所谓交叉验证是指移去一个数据点,用其它数据来估计该点以检验估值精度的方法。对于一个较好的模型,应该满足:(1)其平均预测误差应该接近于0;(2)均方根误差应尽可能的小;(3)平均标准差应该接近于0;(4)平均克立格标准差应尽可能的小;(5)均方根标准差应该接近于1;(6)均方根误差与平均克立格标准差之间差的绝对值也要尽可能的小。模拟结果将根据以上标准来比较、判断和选择。

选择最优模型的路线为:(1)首先选择满足平均预测误差尽可能的接近于0;(2)选择平均标准差尽可能的接近于0;(3)从中选择满足均方根标准差接近于1;(4)最后再从中选择出均方根误差与平均克立格标准差之间差的绝对值最小的方法,也就是最优方法。

1.2.3 经典分析方法

研究生物种群空间分布型的聚集度指标主要有(1)平均拥挤度 M^* ; (2)I 指标; (3) M^*/M 指标; (4) C_d 指标; (5)扩散系数 C ; (6)负二项分布的 K 指标等。经典分析是在 DPS 数据处理系统 7.05 (Refine Information Tech. Co., Ltd) 的支持下进行的,与 GS 进行对比分析,更客观地反映烟粉虱的空间分布特征。

2 结果与分析

2.1 烟粉虱成虫田间分布的空间结构分析

鄯善县棉花种植模式主要为瓜套棉,5月上中旬烟粉虱先在发育较早的哈密瓜上危害,6月底~7月初,哈密瓜采收完拉秧后,烟粉虱转移到套种的棉花上危害,此时棉花正处于现蕾开花期,烟粉虱的危害对其生长发育影响大。田间观察,哈密瓜较棉花是烟粉虱更适宜的寄主。在首先验证了采集到的数据样本符合正态分布后进行空间结构分析。运用地统计学方法,得到的不同时期插值方法和相应模型参数如表1所示,可以看出:(1)烟粉虱成虫在田间各时期均存在一定的空间相关性,其空间相关距离(相关程)由最初的32m剧增至6372m,随后的2个月其空间相关距离一直在2000~3000m的范围波动;(2)虫口密度空间变异的随机程度($C_0/(C_0+C)$)从7月底开始一直稳定在50%左右,说明随机部分与空间自相关部分引起的空间异质性所占比例相同。

昆虫种群空间格局的经典分析方法特征参数见表2,各项参数指标表明烟粉虱从温室扩散至大田并建立种群的不同时期,其种群空间分布型均为聚集型。经过频次分布检验(表3),确定以零频率法参数拟合的负二项分布来表达其空间分布型最为合适。

根据空间相关分析的结果(各时期,成虫在空间均存在空间相关性,并具有一定的相关程)以及各空间分布图均存在聚集高峰等特点,可以确定烟粉虱成虫在空间呈聚集分布的格局,而各时期成虫的聚集程度依据空间变异随机程度所占的比例不同(表1)而不同,该结果与经典分析法一致。但是经典分析特征参数仅能为某时间调查区域昆虫种群分布型定性,而运用 GS 的分析方法,却可以进一步得到种群分布面积变化与扩散的趋势,并依此可对昆虫种群的扩散模型进行模拟。

2.2 空间分布图的生成

应用地统计学的插值方法和模型,在空间相关性分析的基础上,对研究区域烟粉虱成虫密度进行插值生

成分布图。对生成的成虫密度等值线分布图进行交叉验证,结果如表 4 所示。从该表可以看出:各时期分布图的平均预测误差和平均标准差都很小,接近于 0;均方根标准差也接近于 1;均方根误差和平均克立格标准差均相对较小。因此各典型时期的模拟分布图基本达到了比较小的误差,得到了较好的模拟效果。具有代表性时期的空间分布图如图 1。

表 1 各时期的插值方法和相应的模型参数

Table 1 Interpolation methods and parameters of models

调查日期 Date	模型 Model	相关程 Distance of the spatial dependence (m)	基台值 Skill ($C + C_0$)	偏基台值 Partial skill (C)	块金值 Nugget (C_0)	随机程度 Random degree ($C_0 / (C + C_0)$) %
07-01	指数 Exponential	32	77	62.2	14.8	19.22
07-15	指数 Exponential	66	89.7	76.9	12.8	16.64
07-22	指数 Exponential	84	103.5	85.9	17.6	17.00
07-26	指数 Exponential	108	117	91.9	25.1	21.45
07-29	指数 Exponential	6327	212.5	106.3	106.2	49.98
08-02	指数 Exponential	5343	232.3	116.2	116.1	49.98
08-05	指数 Exponential	2298	232.9	116.5	116.4	49.98
08-09	指数 Exponential	2391	257.6	129.2	128.4	49.84
08-12	指数 Exponential	2874	302.7	166.7	136	44.93
08-16	指数 Exponential	3090	344.7	192.4	152.3	44.18
08-19	球型 Spherical	1916	347.1	173.6	173.5	49.99
08-22	球型 Spherical	3171	403.6	109	194.6	48.22
08-26	指数 Exponential	1987	429.3	214.7	214.6	49.99
09-01	球型 Spherical	1250	423.5	211.8	211.7	49.99

表 2 经典分析方法特征参数

Table 2 Characteristic parameters of classical analysis Methods

调查日期 Date	平均拥挤度 Mean crowd (M^*)	聚集指标 Aggregated index (I)	平均拥挤度和 平均密度的比值 Mean crowd/mean density(M^*/M)	Ca 指标 Ca value	扩散系数 Diffusion coefficient (C)	K 指标 K value
07-01	8.990	5.965	2.972	1.972	6.965	0.507
07-05	12.681	8.284	2.884	1.884	9.284	0.531
07-08	12.743	7.682	2.518	1.518	8.682	0.659
07-13	15.131	8.766	2.377	1.377	9.766	0.726
07-16	16.454	9.031	2.217	1.217	10.031	0.822
07-19	17.161	8.935	2.086	1.086	9.935	0.921
07-22	18.832	9.396	1.996	0.996	10.396	1.004
07-26	19.758	9.519	1.930	0.930	10.519	1.076
07-29	20.777	9.783	1.890	0.890	10.783	1.124
08-02	22.026	10.262	1.872	0.872	11.262	1.147
08-05	23.315	10.641	1.840	0.840	11.641	1.191
08-09	24.433	11.029	1.823	0.823	12.029	1.215
08-12	25.344	11.329	1.808	0.808	12.329	1.237
08-16	26.891	11.884	1.792	0.792	12.884	1.263
08-19	28.187	12.347	1.780	0.780	13.347	1.283
08-22	30.134	13.097	1.769	0.769	14.097	1.301
08-26	31.573	13.562	1.753	0.753	14.562	1.328
09-01	33.347	14.054	1.728	0.728	15.054	1.373

表 3 频次分布检验

Table 3 Frequency distribution test

频次检验方法 Method of frequency test		χ^2	P
二项分布频次检验 binomial distribution frequency test		142026123.8568	0.0000
波松分布频次检验 Poisson distribution frequency test		34354839.4364	0.0000
负二项分布频次检验	矩法 Moment method	4195.6785	0.0000
Negative binomial distribution frequency test	零频率法 Zero frequency	2133.8156	0.0000
	最大或然法 Maximum likelihood	2311.7618	0.0000
核心分布频次检验 Contagious distribution frequency test		59384.4223	0.0000
波松-二项分布频次检验 Poisson binomial distribution frequency test		947475.3748	0.0000
复合波松分布频次检验 Poisson distribution frequency test		41830.2333	0.0000

表 4 各时期插值地图的交叉验证结果

Table 4 The results of cross validation for interpolation maps

插值方法 Interpolation methods	日期 Date	平均预测误差 Mean	均方根误差 RMS	平均克立格标准差 Avg-Std	平均标准差 Mean Std	均方根标准差 RMS Std	均方根误差与 平均克立格标 准差之间的差 RES-Avg. Std
简单克立格法 Simple Kriging	7.1	0.404	266.3	272.1	0.0007	0.919	-5.8
普通协同克立格法 Ordinary Cokriging	7.22	-0.043	1721	1803	-0.0003	0.951	-82
普通克立格法 Ordinary Kriging	8.5	-0.055	277.3	253.6	-0.0035	1.086	23.7
普通克立格法 Ordinary Kriging	9.1	0.087	185.6	177.1	-0.0008	1.049	8.5

2.3 棉田烟粉虱的迁飞动态及田间垂直分布

调查期(7月1日~9月1日)的风向频率、平均风速见表5。

表 5 调查期风向频率、平均风速表

Table 5 Wind parameters during the period of investigation

项目 Item	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
风频 Wind frequency(%)	0.80	0.50	0.99	0.70	2.83	3.23	2.98	2.47	2.32	2.32	0.83	0.66	1.02	1.39	0.40	0.50
平均风速(m/s)	1.33	0.80	1.50	0.90	1.80	2.20	1.83	1.78	1.36	1.14	1.8	1.50	1.00	1.83	1.00	1.00
Average wind speed																

从表5可以看出调查期内的主导风向是东南偏东风(ESE),风向频率为3.23%,次主导风向为东南风(SE),风向频率为2.98%。调查期平均风速1.1m/s。风频、风速玫瑰图(图1)。

从空间分布图(图1)随时间的变化及调查期间风频、风速(表5)可以看出烟粉虱的扩散趋势:在风向、风力的影响下,温室越冬的烟粉虱主要是顺风从庇护所迁飞到下风向的棉田。7月初在大田定殖后,烟粉虱在棉田除进行较弱的横向主动扩散外,仍然以纵向顺风的扩散为主,1个月内便可扩散2km;而逆风向则扩散得较慢,温室东南边逆风向上的棉田在8月中旬前都没有受到烟粉虱的危害。

棉田烟粉虱的垂直分布如图2所示:逆风向,烟粉虱易在棉株中、下部依靠自身飞翔,缓慢扩散,表现为棉株中、下部叶片先受害,成虫数量大,进而上部叶片受害;顺风向,烟粉虱借助风力,迅速传播并危害棉花的上部叶片,随后棉株中部、下部叶片受到危害,表现为上部叶片的成虫数量最大;从总体上看,随时间推移烟粉虱在棉株上建立稳定种群后,下部虫口密度要略高于上部。

3 讨论

研究烟粉虱成虫的空间分布特性及时序动态,有利于制定合理的害虫防治措施。因为害虫的空间分布与

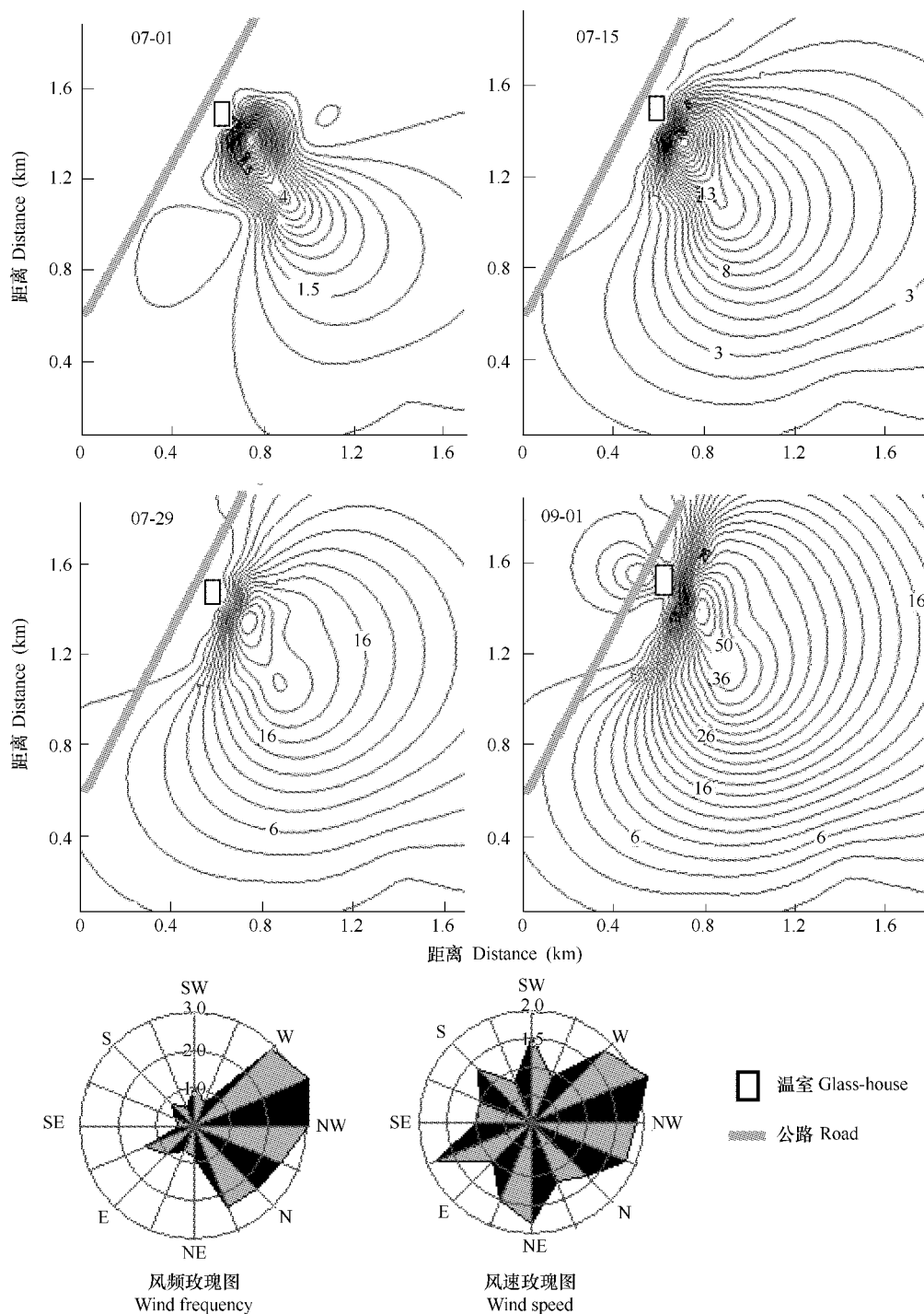


图1 试验区烟粉虱成虫的空间分布及动态

Fig. 1 Spatial distribution and dynamics of the *Bemisia tabaci* (Gennadius) adults

种群的增殖密切相关,种群的空间格局反映种群的行为习性和栖境环境的影响,是种群有效利用资源的一个重要特征。利用昆虫种群空间格局的经典研究方法虽然可以判断昆虫的空间分布型和种群动态,但无法充分获取种群数量分布的空间相关性信息,也不能确定空间依赖范围大小,因而难以区别不同空间格局的差别^[14,15]。运用地统计学方法则可以弥补上述经典研究方法的不足。通过比较不同空间尺度大小下昆虫种群空间结构的特点,了解昆虫种群空间结构的动态规律,比较不同时间昆虫种群空间结构的特点,研究聚集、扩散等行为对昆虫种群的空间结构的影响。以地统计学中的空间结构为基础,利用规则或不规则分布的抽样点

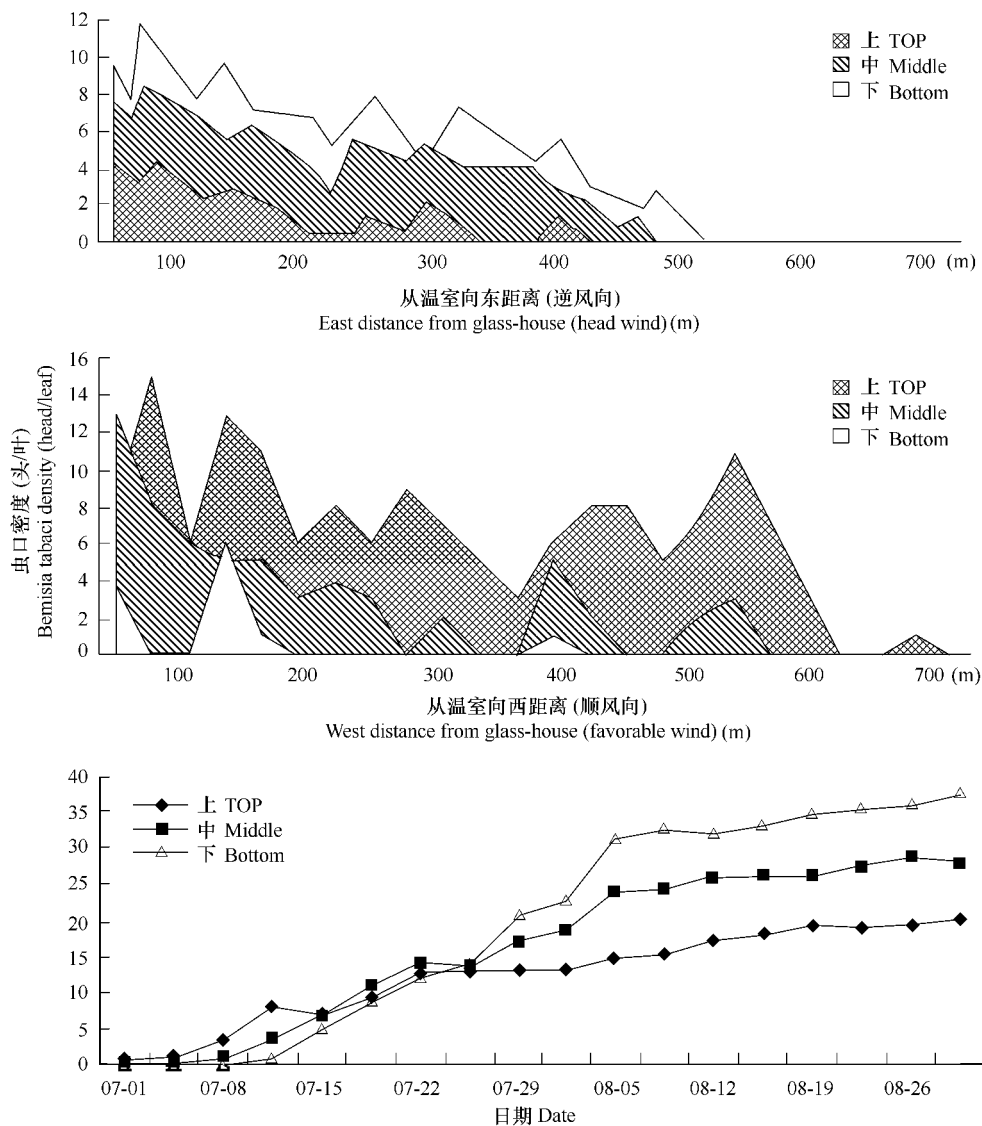


图2 烟粉虱成虫在棉株上的垂直分布

Fig. 2 The vertical distribution of *Bemisia tabaci* (Gennadiue) adults on cotton

资料,估计预测临近地点的虫情。

通过对不同时期烟粉虱种群数量的地统计学分析,可以看出各时期成虫均呈现聚集分布的格局,空间相关距离(相关程)由最初的 32m 剧增至 6372m,在田间表现为烟粉虱从温室迁移至大田后,先是点片发生,然后大面积扩散;随后的 2 个月其空间相关距离则一直在 2000 ~ 3000m 的范围波动,逐渐形成相对稳定的危害区域;7 月期间虫口密度空间变异的随机程度($C_0 / (C + C_0)$)增加表明种群内部空间相关性在下降,随机性影响因子在增加,制约烟粉虱繁殖扩散的自然因素(风力、雨水、天敌等)的作用随着烟粉虱种群的扩大而变得明显。虫口密度的空间变异随机程度在 7 月底稳定在 50%,说明由随机部分引起的空间异质性程度趋于稳定,即烟粉虱在棉株上建立了稳定种群,适应外界制约因素,其空间格局不再发生大的变化。

从空间分布图可以看出,烟粉虱的迁飞扩散在很大程度上受风向的影响,属于典型的借助风力扩散的昆虫。而由于烟粉虱成虫具有明显的喜光性和较强的趋嫩性^[16],其在田间的垂直分布常表现出上部多于下部的现象,如周福才等报道^[17],烟粉虱成虫在棉田垂直方向上的分布动态与棉花封行程度有一定的相关性。棉花完全封行后,烟粉虱主要集中在棉株上部。棉田完全封行后,中、下部光照较弱,郁闭加剧,叶片老化,可能是导致烟粉虱随棉花生育进程的推进而上移的重要原因之一。而据沈斌斌等的报道^[18],广东省江门市新会

区省现代化农业示范基地大棚内调查茄子、西瓜、甜瓜植株上烟粉虱分布,植株中部烟粉虱数量均为最大,往上往下烟粉虱成虫数量减少,表明烟粉虱的垂直分布亦受环境条件变化以及气温和营养条件变化的影响。

正如本文的研究结果,吐鲁番地区鄯善县棉田烟粉虱的垂直分布从7月初至8月底均表现出下部多于上部现象,显示出其独特的空间垂直分布特征。分析原因,可能与吐鲁番地区独特的暖温带大陆性干旱荒漠气候特征有关。吐鲁番盆地,四周高山环抱,平均海拔33m,增热迅速、散热慢,形成了日照长、气温高、昼夜温差大、降水少、风力强五大特点,全年降水量只有16mm左右,全年蒸限发量却高达3000mm,田间湿度40%以下,气候异常干燥。烟粉虱在棉株上的垂直分布,可能是烟粉虱对吐鲁番地区特殊气候条件的适应性表现,通过躲避在棉株的中下部而避免强烈的光照、干燥气候、风力等对其行为的影响。本研究结果对研究烟粉虱对新疆棉田的生态侵害具有重要意义,是实施烟粉虱综合治理的基础。

References:

- [1] Chu D, Liu G X, Fan Z X, *et al.* Genetic Differentiation of Different Geographical Populations of *Bemisia tabaci* (Gennadius) Complex. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(8): 1571—1580.
- [2] Jiu M, Zhou X P, Liu S S. Acquisition and transmission of Tobacco curly shoot virus by the B biotype of the whitefly, *Bemisia tabaci*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 2006, 33(2): 168—172.
- [3] Zhao L, Zhang R, Xiao Y, *et al.* The Harmful Cotton Insect *Bemisia tabaci* (Gennadius) Discovered in Xinjiang. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2000, (1): 27—28.
- [4] Wang Z J, Li D M, Xie B Y. Analysis on spatial distribution and dynamics of *Helicoverpa armigera* (Hübner) eggs, based on GIS and GS. *Acta Entomologica Sinica*, 2004, 47(1): 33—40.
- [5] Yuan Z M, Li F Y, Hu X Y, *et al.* Geostatistical analysis on temporal patterns of *Chilo suppressalis* population. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(4): 673—677.
- [6] Yuan Z M, Xu H Q, He Z Y, *et al.* Geostatistical Analysis on the Spatial Distribution Pattern of *Chilo suppressalis*. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2003, 29(2): 154—157.
- [7] Gao S J, Pang B P, Shi L, *et al.* Geostatistical analysis on spatial patterns of *Plutella xylostella* larvae. *Entomological Knowledge*, 2004, 41(4): 324—327.
- [8] Wang L P, Chen S L, Wu F H, *et al.* Study on the Spatial Pattern of Larvae of *Monochamus alternatus* Hope. *Journal of Fujian College of Forestry*, 2002, 22(1): 78—81.
- [9] Yang Z Z, Chen S L, Huang W D, *et al.* Geostatistical analysis on spatial patterns of *Hylobitelus xiaoi* larvae. *Journal of Fujian College of Forestry*, 2006, 26(2): 123—126.
- [10] Bi S D, Zou Y D, Geng J G, *et al.* Geostatistical analysis on spatial patterns of *Propylaea japonica* and *Aphis gossypii*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 11(3): 421—424.
- [11] Lecoustre L, Fargette D, *et al.* Analysis and mapping of the spatial spread of African cassava mosaic virus using Geostatistics and kriging technique. *Phytopathology*, 1989, 79(9): 913—920.
- [12] Li H, Reynolds J F. On definition and quantification of heterogeneity. *Oikos*, 1995, 73(2): 280—284.
- [13] Robertson G. P. Geostatistics in ecology: interpolating with known variance. *Ecology*, 1987, 68(3): 744—748.
- [14] Liebhold A M, Rossi R E, Kemp W P. Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. *Ann Rev Entomol*, 1993, 38: 303—327.
- [15] Liebhold A M, Zhang X, *et al.* Geostatistical analysis of gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) egg mass populations. *Environ Entomol*, 1991, 20: 1407—1417.
- [16] Byrne D N, Bellows T S. Whitefly Biology. *Annu. Rev. Entomol*, 1991, 36: 431—457.
- [17] Zhou F C, Ren X S, Du Y Z, *et al.* Spatial patterns of *Bemisia tabaci* (Gennadius) population in cotton fields. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(7): 1239—1244.
- [18] Shen B B, Ren S X, Musa P D, *et al.* The spatial distribution pattern of *Bemisia tabaci* adults. *Entomological Knowledge*, 2005, 42(5): 544

— 546.

参考文献:

- [1] 褚栋,刘国霞,范仲学,等. 烟粉虱复合种不同地理种群的遗传分化. 中国农业科学,2006,39(8):1571 ~ 1580.
- [2] 纠敏,周雪平,刘树生. B 型烟粉虱携带传播烟草曲茎病毒的能力. 植物保护学报,2006,33(2):168 ~ 172.
- [3] 赵莉,张荣,肖艳,崔元纭,等. 危害棉花的重要害虫烟粉虱在新疆发现. 新疆农业科学,2000,(1):27 ~ 28.
- [4] 王正军,李典谟,谢宝瑜. 基于 GIS 和 GS 的棉铃虫卵空间分布与动态分析. 昆虫学报,2004,47(1):33 ~ 40.
- [5] 袁哲明,李方一,胡湘粤,等. 基于地统计学的二化螟种群时间格局分析. 应用生态学报,2006,17(4):673 ~ 677.
- [6] 袁哲明,徐惠清,贺智勇,等. 二化螟种群空间格局的地统计学分析. 湖南农业大学学报(自然科学版),2003,29(2):154 ~ 157.
- [7] 高书晶,庞保平,史丽,等. 小菜蛾幼虫空间格局的地统计学分析. 昆虫知识,2004,41(4):324 ~ 327.
- [8] 王玲萍,陈顺立,武福华,等. 松墨天牛幼虫空间格局的研究. 福建林学院学报,2002,22(1):78 ~ 81.
- [9] 杨轶中,陈顺立,黄炜东,等. 萧氏松茎象幼虫空间格局的地统计学分析. 福建林学院学报,2006,26(2):123 ~ 126.
- [10] 毕守东,邹运鼎,耿继光,等. 棉蚜及龟纹瓢虫空间格局的地统计学研究. 应用生态学报,2006,11(3):421 ~ 424.
- [17] 周福才,任顺祥,杜予州,等. 棉田烟粉虱种群的空间格局. 应用生态学报,2006,17(7):1239 ~ 1244.
- [18] 沈斌斌,任顺祥,Musa P D,等. 烟粉虱成虫空间分布型的研究. 昆虫知识,2005. 42(5):544 ~ 546.