

基于 GIS 和 GS 的棉铃虫卵空间分布与动态分析

王正军, 李典谟*, 谢宝瑜

(中国科学院动物研究所, 农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100080)

摘要: 以河北省中南部面积为 93 539 平方公里(约占河北总面积的 51.5%)的区域作为研究区, 应用地理信息系统技术和地统计学方法对 1980~1997 年的来自 36 个监测点的二代棉铃虫卵的密度数据进行了空间结构分析和空间分布模拟。结果表明卵在所研究的尺度上存在空间相关性, 但各年空间相关的程度均较弱且随年份和地域的不同而不同。空间变异成分所占比例的变化范围为 3.54%~61.67%, 其相关程从 115.92 km 到 487.08 km。时间序列分析表明, 卵的发生数量始终处于波动状态, 其中 1980~1991 年维持在低水平的波动状态, 其发生的平均密度为 330 粒/百株, 变化范围为 122~706 粒/百株; 而 1992~1997 年在高水平波动, 其平均密度为 1 877 粒/百株, 变化范围为 264~4 023 粒/百株。空间模拟结果表明, 各年的卵在空间均呈现聚集分布的格局, 但聚集程度依据其空间相关成分所占比例的不同而不同。从发生的地域特点看, 从东北至西南, 卵的发生程度逐渐趋重, 其中西部的阜平县、曲阳县、行唐县、灵寿县、平山县等地以及南部的邯郸市、磁县、临漳县、魏县等地发生最重, 而东北的遵化市、玉田县、丰润县、唐山市、丰南县等地最轻。卵的密度的各个等级不仅在地域上存在差异, 而且随时间发生变化, 从整体发生情况看, 1992 年发生最重, 其次为 1993 和 1995 年, 1981 和 1990 年发生较轻, 1987 年发生最轻, 1980 年代的发生数量显著低于 1990 年代, 这与时间序列的分析结果一致。棉铃虫 1990 年代的发生偏重主要是气温持续偏高、冬季变暖所致。而研究区棉铃虫重发生地位于西部及西南部分地区, 该地的主要特点是多山、植被丰富、小麦种植比例高、6 月降雨量偏少, 根据相关研究, 多样性的寄主和干旱的气候条件有利于棉铃虫的大发生。

关键词: 棉铃虫; 卵; 地理信息系统; 地统计学; 空间分布; 动态

中图分类号: Q968 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2004)01-0033-08

Analysis on spatial distribution and dynamics of *Helicoverpa armigera* (Hübner) eggs, based on GIS and GS

WANG Zheng-Jun, LI Dian-Mo*, XIE Bao-Yu (State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: In this study, Geographic Information System (GIS) technology and geostatistics (GS) methods were used to analyze the spatial structure and simulate the spatial distribution with the historical data of the 2nd generation eggs densities of *Helicoverpa armigera* (Hübner), which were collected from 36 monitoring points in Hebei Province during 1980 to 1997. The study areas lie in central and southern part of Hebei Province, and amounted to 93 539 km², about 51.5% of the whole provincial area. Results showed that the eggs were correlated spatially in the study areas, but degrees of correlation were all lower and different from year to year and area to area. Proportion of spatial variation changed from 3.54% to 61.67%; the distance range of spatial dependence varied from 115.92 to 487.08 km. The time series analysis showed that the quantity of *H. armigera* was always in fluctuation during 1980 to 1997. During the period of 1980 to 1991, the quantity was low with average density of 330 eggs per a hundred plants, and its range was 122 - 706 eggs per a hundred plants. However, the egg quantity became high remarkably during 1992 to 1997 with average density of 1 877 eggs per a hundred plants, and its range was 264 - 4 023 eggs per a hundred plants. Based on the outbreak map of the 2nd generation of *H. armigera*, it was found that the spatial distribution patterns were aggregated in all years, but the collective degree was changed with time and the proportion of the spatial correlation component. The density grades of egg distribution were high in the southwest, but low in the northeast in the study areas. From the northeast to the southwest, the densities

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(TG2000016210); 中国科学院创新方向项目(KSCX2-SW-103, KSCX2-1-02); 国家自然科学基金项目(30170158, 30170596)

作者简介: 王正军, 男, 1968 年 9 月生, 博士, 从事昆虫生态学研究, E-mail: wangzj@panda.iz.ac.cn

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: lidm@panda.iz.ac.cn

收稿日期 Received: 2003-07-23; 接受日期 Accepted: 2003-09-17

of eggs increased gradually. The highest grades of density were found in the areas of Fuping, Quyang, Xingtang, Ling-shou, Pingshan, Handan, Cixian, Linzhang and Weixian, and the lowest in Zunhua, Yutian, Fengrun, Tangshan and Fengnan. The density of eggs was not only related to location, but also to time. On the whole, outbreak was the heaviest in 1992 and heavier in 1993 and 1995, while moderate in the 1981 and 1990 and the lightest in 1987. The outbreak number in the 1980s was significant lower than that in the 1990s. The results were consistent with that of the time series analysis. Based on the pertinent reports and our study, it was suggested that the higher air temperature, especially warmer winter was the main factor which triggered outbreak of the *H. armigera* in the 1990s. It was also suggested that in west and southwest outbreak areas, numerous mountains, abundant vegetation, higher wheat cultivation proportion, and lesser rainfall in June, should be important factors leading to the outbreak of *H. armigera*.

Key words: *Helicoverpa armigera*; eggs; geographic information system; geostatistics; spatial distribution; dynamics

了解害虫的区域性空间分布格局及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,才能进一步地揭示其暴发的机制并对其未来的发生进行预测。

目前,对害虫区域性空间分布及动态的研究仍然是一个薄弱环节。这表现在两个方面:首先,许多研究仍局限于时间序列而忽视了空间因子对种群动态的影响(程新意和杨崇瑞,1992;黄荣花等,1995;宫锡鸿等,1997)。例如各地植保站在进行监测活动时普遍存在抽样点偏少,以点盖面现象,而昆虫生存的环境往往是复杂的、异质性的,用局域的发生来代表整体的情况其结果必然带来监测和预测上的偏差。此外,各地站点间在害虫监测上还缺少横向的联系和沟通,一般多关心本地害虫的活动而忽略了异地害虫的发生对当地的影响。其次,就区域性害虫空间动态而言,研究比较多的是林业害虫如舞毒蛾(Hohn *et al.*, 1993; Zhou *et al.*, 1995; Liebhold *et al.*, 1998),水稻害虫如褐飞虱(王海扣等,1998)等。由于害虫数据的限制及缺乏有效的分析工具,国内在这方面的研究仍然很不成熟,仅涉及很少的害虫如稻飞虱、二化螟等(王正军等,2000;周强等,2001,2003),一些涉及棉铃虫的研究也仅见于小尺度(如田块水平)和空间结构分析(葛绍奎等,2000;陆永跃和梁广文,2002),对大尺度的棉铃虫空间分布和动态的研究还未见报道。因此如何利用有限的历史数据、合理的分析方法来研究和分析害虫区域性暴发成灾的规律性是目前我国昆虫生态学工作者需要关注的课题。

棉铃虫是我国主要棉花害虫之一(翟连荣等,1992;吴坤君和龚佩瑜,2001),而河北省是我国重要的棉花产区,棉铃虫在该省的发生世代为三代或四代,其中以二代为害最重,为主害代。二代棉铃虫在华北棉区主要集中在棉田内发生为害,而三代棉铃

虫则分散在棉田、玉米田、花生田内(丁岩钦和张占川,1994)。由于二代卵粒基数的大小直接影响全年的发生情况,加之卵在空间分布上的相对稳定性,因此,我们以河北省棉铃虫二代卵作为研究对象,对其在历史上的发生情况进行系统分析,其主要目的有三个:1)明确棉铃虫卵在区域性尺度是否存在空间相关关系;2)通过地统计学的方法获得各年卵的空间分布地图;3)明确二代棉铃虫卵在空间的分布格局及其动态规律。

1 资料和方法

1.1 研究区域与数据

以河北省中南部地区(面积为 93 539 平方公里,约占河北总面积的 51.5%)作为研究区域,共涉及的抽样点为 36 个(图 1)。选择这个区域主要基于以下几方面的考虑:1)该地为河北省棉花种植的主要区域,北部高纬度地区棉花种植比例很小,明确这一地区的棉铃虫种群动态规律可以反映全省的情况;2)由于 1980~1997 年这 18 年的抽样点大都位于这一地区,对这些抽样点进行空间模拟可以产生比较合理的插值结果。

研究使用的数据包括:研究区边界图(1:1 000 000);研究区数字高程模型 DEM(1:250 000)。各抽样点 5 月和 6 月各旬的平均气温、旬降雨量;5 月和 6 月的月平均气温、月降雨总量、温雨系数、温湿系数、降雨强度以及高程数据、各年小麦和棉花的种植面积比例等。

1.2 研究方法

1.2.1 空间结构分析和空间分布模拟: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(用偏基台值与基台值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

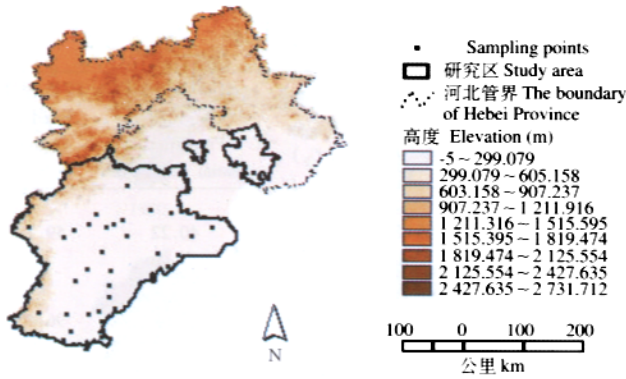


图 1 研究区和抽样点所在位置

Fig.1 The locations of the study areas and sampling points

其所占比例的大小)。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。空间结构分析应用协方差或半方差函数进行,对于卵的空间结构,本研究使用半方差图和协方差图两种方法进行模拟,模拟模型主要有三种,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。

空间模拟所用插值方法包括普通克里格法(Ordinary kriging),普通协同克里格法(Ordinary Cokriging)和简单克里格法(Simple kriging)三种。参与协方差分析和协同克里格插值的变量有:5月和6月各旬的平均气温、旬降雨量;5月和6月的月平均气温、月降雨总量、温雨系数、温湿系数、降雨强度以及高程数据、各年小麦和棉花的种植面积比例等。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。

各年卵分布的模拟地图的生成方法按以下方式确定:首先用 Ordinary kriging,如果结果误差足够小,即接近于零,将不再用 Ordinary Cokriging 插值;如果误差较大,则与 Ordinary Cokriging 方法进行比较,选择误差较小者作为最终的插值方法。应用 Ordinary Cokriging 方法时,以二代卵的密度为主变量,其它因子作为协变量进行插值,通过对各个因子逐一进行插值比较,选择插值误差最小的那个因子作为协变量生成最终的卵分布图。

为了定量分析卵的发生,将各年的插值图分为5个等级,即轻发生(< 50粒/百株)、中偏轻(51~150粒/百株)、中度发生(151~500粒/百株)、中偏重(501~1500粒/百株)和大发生(> 1500粒/百株)。根据各年的发生分布图,统计各发生等级的面积和比例。

空间结构分析和分布模拟是在地理信息系统软

件 ArcGIS 8.1(ESRI Inc. 2001)和 ArcView GIS 3.2(ESRI Inc. 1999)的支持下进行的。

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)平均克里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里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里格标准差之间差的绝对值最小的方法,也就是最优方法。

2 结果与分析

2.1 卵的空间结构分析

各年的插值方法和相应的模型参数如表1所示,对于普通协同克里格方法,我们仅选择二代卵的密度的空间结构参数,不包括卵与其它协变量及协变量本身的变异情况,空间变异成分和随机程度也仅针对卵本身而言。

根据表1可以看出:1)二代棉铃虫卵在各年都存在一定的空间相关性,空间相关距离(相关程)为115.92~487.08 km;2)卵的密度的空间变异成分在各年都比较低,变化范围为3.54%~61.67%。

2.2 各年卵的空间分布图的生成

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,对河北省二代卵的密度进行了插值,生成的各年空间分布图如图2。

2.3 交叉验证

对生成的分布地图进行交叉验证,结果如表2所示。根据该表可以看出:各年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里格标准差均相对较小。因此各年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。

2.4 卵量的时间序列分析

为了对研究区1980~1997年18年的发生情况有一个整体了解,首先对各年所有抽样点的密度值

表 1 各年的插值方法和相应的模型参数

Table 1 Interpolation methods and parameters of the models each year

插值方法 Interpolation methods	年份 Year	模型 Model	协变量 Covariable	相关程 Distance of the spatial dependence (km)	基台值 Sill (C)	偏基台值 Partial sill ($C - C_0$)	块金系数 Nugget (C_0)	空间变异成分 所占比例 Proportion of spatial variation%	随机程度 Random degree %
Ordinary Cokriging	1980	球型 Spherical	6 月上旬降雨量 Gross rainfall in the first ten days of the June	115.95	39 984	16 080	23 904	40.22	59.78
Ordinary Cokriging	1981	球型 Spherical	棉花种植比例 Proportion of the cotton planting	283.52	12 408.3	439.29	11 969	3.54	96.46
Ordinary Cokriging	1982	高斯 Gaussian	高程 Elevation	293.66	448 800	153 400	295 400	34.18	65.82
Ordinary Cokriging	1983	高斯 Gaussian	5 月降雨强度 Rainfall intensity in May	189.13	149 623	60 970	88 653	40.75	59.25
Simple kriging	1984	指数 Exponential		363.66	63 234	10 433	52 801	16.50	83.50
Ordinary kriging	1985	指数 Exponential		473.67	32 295.6	4 552.6	27 743	14.10	85.90
Ordinary Cokriging	1986	高斯 Gaussian	6 月降雨总量 Gross rainfall in June	480.53	197 457	15 557	181 900	7.88	92.12
Ordinary kriging	1987	球型 Spherical		317.59	11 227.4	2 546.8	8 680.6	22.68	77.32
Ordinary kriging	1988	球型 Spherical		379.3	115 706	49 140	66 566	42.47	57.53
Ordinary Cokriging	1989	高斯 Gaussian	高程 Elevation	185.12	146 852.4	7 092.4	139 760	4.83	95.17
Ordinary kriging	1990	指数 Exponential		343.74	32 728.1	4 782.1	27 946	14.61	85.39
Ordinary Cokriging	1991	球型 Spherical	5 月温雨系数 Proportion of the gross rainfall to average temperature in May	237.16	435 550	268 590	166 960	61.67	38.33
Ordinary kriging	1992	高斯 Gaussian		487.08	8 781 700	4 728 600	4 053 100	53.85	46.15
Ordinary kriging	1993	高斯 Gaussian		272.63	4 222 910	114 510	4 108 400	2.71	97.29
Ordinary kriging	1994	球型 Spherical		417.71	90 447	34 635	55 812	38.29	61.71
Ordinary Cokriging	1995	高斯 Gaussian		358.34	2 515 100	1 205 300	1 309 800	47.92	52.08
Simple kriging	1996	球型 Spherical		49.065	951 960	416 090	535 870	43.71	56.29
Ordinary Cokriging	1997	球型 Spherical	5 月下旬降雨量 Gross rainfall in the last ten days of May	154.91	411 154.3	74.348	411 080	0.02	99.98

取平均值,做时间序列分析如图 3。结果表明 18 年间,棉铃虫卵的发生数量始终处于波动状态,其中 1980~1991 年维持在低水平的波动状态,其发生的平均密度为 330 粒/百株,变化范围为 122~706 粒/百株;而 1992~1997 年的发生数量在高位波动,其平均密度为 1 877 粒/百株,变化范围为 264~4 023 粒/百株。其中 1992 年发生数量最高,该年平均值为 4 023 粒/百株,远远高于其它年份,其次为 1993 年,发生密度为 2 820 粒/百株。从整体的发生情况看,1992 年发生最重,其次为 1993 年和 1995 年(2 178 粒/百株),1981 年(145 粒/百株)和 1990 年(144 粒/百株)发生较轻,1987 年发生最轻(122 粒/百株),1980 年代的发生数量显著低于 1990 年代。

2.5 空间分布及动态

根据空间相关分析的结果(各年卵在空间均存在空间相关性,并具有一定的相关程)以及各年模拟地图都存在聚集斑块等特点,可以确定研究区二代

棉铃虫卵在空间呈聚集分布的格局,而各年卵的聚集程度依据其空间相关成分所占比例的不同(表 1)而不同。如 1991 年的空间变异成分所占比例在各年中最高(61.67%),其卵的聚集程度亦最强,方向性也最明显。

从空间模拟地图还可以确定其在地域上的发生趋势,即从东北至西南,发生程度逐渐趋重,其中西部的阜平县、曲阳县、行唐县、灵寿县、平山县等地以及南部的邯郸市、磁县、临漳县、魏县等地发生最重,而东北的遵化市、玉田县、丰润县、唐山市、丰南县等地最轻。

对各个发生等级所占的面积和比例进行统计(表 3),可以看出,各个发生等级不仅在地域上存在差异,而且随时间发生变化:1)轻发生等级仅发生在 1980 和 1987 年,但所占面积很小,分别仅占当年发生总面积的 0.02% 和 1.77%;2)中偏轻的所占面积在大部分年份都比较低,只有 1981 年(54.65%)、

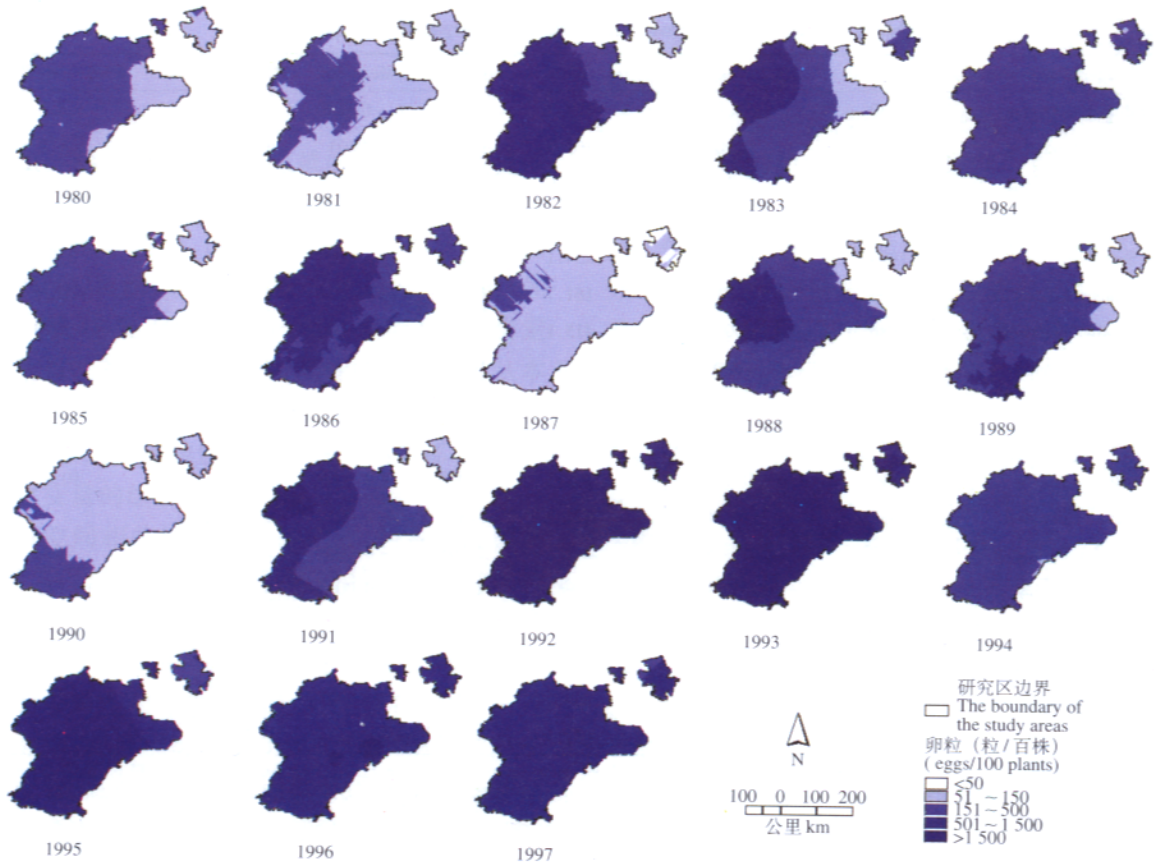


图 2 河北省二代棉铃虫卵的空间分布及动态

Fig.2 Spatial distribution and dynamics of the 2nd generation eggs of the *Helicoverpa armigera* (Hübner) in Hebei Province



图 3 河北省二代棉铃虫卵的平均数量动态(1980~1997)

Fig.3 Average quantity dynamics of the 2nd generation eggs of the *Helicoverpa armigera* (Hübner) in Hebei Province (1980-1997)

1987年(86.08%)和1990年(76.53%)三年所占面积比例较大,均超过50%;3)中等发生等级所占面积比例在50%以上的年份有6年,分别为1980年(78.8%)、1985年(89.24%)、1986年(63.7%)、1988年(64.41%)、1989年(75.98%)和1994年(99.61%);4)中偏重等级发生比例在50%以上的年份有4年,分别为1982年(72.09%)、1984年

(100%)、1996年(96.06%)和1997年(97.92%);5)大发生等级仅有6年存在,其中发生面积比例在50%以上的年份有3年,分别为1992年(95.85%)、1993年(94.47%)和1995年(80.41%);6)1983年和1991年各个等级发生面积比例均未达到50%,但这两年的中发生等级所占面积比例均很大。

表 2 各年插值地图的交叉验证结果

Table 2 The results of cross validation for interpolation maps each year

插值方法 Interpolation methods	年份 Year	Mean	RMS	Avg. Std	Mean Std	RMS Std	RMS - Avg. Std
Ordinary Cokriging	1980	-0.030	188.7	194.2	-0.006	0.997	-5.5
Ordinary Cokriging	1981	0.007	105.5	114.2	0.0003	0.925	-9.2
Ordinary Cokriging	1982	0.059	563.9	588.5	-0.0034	0.968	-24.6
Ordinary Cokriging	1983	0.060	285.3	339.8	-0.0048	0.846	-54.5
Simple kriging	1984	0.059	254.1	245.2	-0.0005	1.037	8.9
Ordinary kriging	1985	0.011	161.7	177.9	-0.0014	0.914	-16.2
Ordinary Cokriging	1986	0.005	415.1	443.6	-0.0003	0.935	-28.5
Ordinary kriging	1987	-0.051	105	101.5	-0.0006	1.032	3.5
Ordinary kriging	1988	0.487	271.8	292.8	0.0008	0.939	-21
Ordinary Cokriging	1989	-0.030	362.2	393.4	-0.0023	0.926	-31.2
Ordinary kriging	1990	0.091	191.1	180.3	-0.0009	1.057	10.8
Ordinary Cokriging	1991	-0.064	472.3	524.1	-0.0010	0.922	
Ordinary kriging	1992	0.078	2 192	2 163	-0.0024	1.023	29
Ordinary kriging	1993	-0.043	1 985	2 107	-0.0003	0.944	-122
Ordinary kriging	1994	-0.056	289.7	262.5	-0.0033	1.097	27.2
Ordinary Cokriging	1995	0.048	1 300	1 269	-0.0010	1.032	31
Simple kriging	1996	0.042	968.5	969.1	0.0009	0.998	-0.6
Ordinary Cokriging	1997	0.605	657.9	672.8	0.00003	0.978	-14.9

Mean: 平均预测误差 Mean prediction error; RMS: 均方根误差 Root-mean-square prediction error; Avg. Std: 平均克里格标准差 Average kriging standard error; Mean Std: 平均标准差 Mean standardized prediction error; RMS Std: 均方根标准差 Root-mean-square standardized prediction error; RMS - Avg. Std: 均方根误差与平均克里格标准差之间的差 Difference between Root-mean-square prediction error and Average kriging standard error.

表 3 各发生等级的面积和比例(1980~1997)

Table 3 Areas and proportions of the outbreak grades (1980 - 1997)

年份 Year	<50(轻发生 Lowest)		51~150(中偏轻 Lower)		151~500(中发生 Moderate)		501~1 500(中偏重 Higher)		>1 500(重发生 Highest)	
	面积 Area ($1 \times 10^4 \text{ km}^2$)	比例 Proportion (%)	面积 Area ($1 \times 10^4 \text{ km}^2$)	比例 Proportion (%)	面积 Area ($1 \times 10^4 \text{ km}^2$)	比例 Proportion (%)	面积 Area ($1 \times 10^4 \text{ km}^2$)	比例 Proportion (%)	面积 Area ($1 \times 10^4 \text{ km}^2$)	比例 Proportion (%)
1980	0.0017	0.02	1.982	21.19	7.3714	78.80				
1981			5.1125	54.65	4.2426	45.35				
1982			0.5985	6.40	2.0129	21.52	6.7437	72.09		
1983			1.593	17.03	4.5367	48.49	3.2254	34.48		
1984							9.3551	100.00		
1985			1.0069	10.76	8.3482	89.24				
1986			3.3959	36.30	5.9592	63.70				
1987	0.1659	1.77	8.0533	86.08	1.1359	12.14				
1988			0.906	9.68	6.026	64.41	2.4231	25.90		
1989			0.9713	10.38	7.108	75.98	1.2758	13.64		
1990			7.1591	76.53	2.196	23.47				
1991			0.6144	6.57	4.2292	45.21	3.6691	39.22	0.8424	9.00
1992							0.388	4.15	8.9671	95.85
1993							0.5176	5.53	8.8375	94.47
1994			0.0366	0.39	9.3185	99.61				
1995					0.5174	5.53	1.3148	14.05	7.5229	80.41
1996							8.9865	96.06	0.3686	3.94
1997					0.1623	1.73	9.1606	97.92	0.0322	0.34

基于以上结果,若根据等级发生面积比例大于 50%作为衡量各年发生程度的指标,则可以将各年的发生大致划分为轻发生年,如 1981、1987 和 1990

年;中发生年包括 1980、1985、1986、1988、1989 和 1994 年;大发生年包括 1982、1984、1996、1997、1992、1993 和 1995 年;在这 18 年当中,1992 年发生最重,

其次为 1993 年和 1995 年, 1987 年发生最轻。

3 讨论

害虫一般都滋生于一地域的寄主作物或植被之中, 存在于某一特定的时间段内, 也就是说它的生态学变量既有时间性, 也有空间性。比如卵的密度数值为 50 粒/百株, 其生态学意义就是某一时刻(如 1980 年 6 月 18 日上午 10 点)、某一地点(具有确定的经纬度值), 每一百株棉花所具有的卵粒数。从本文的空间结构分析来看, 尽管结构性成分所占比例不是很大, 但这个结构性成分在各年确实都存在, 它是区域化变量的组成部分, 不应被忽略。

尽管空间相关性是客观存在的, 但各年的相关距离(相关程)却存在差异, 空间变异成分所占比例普遍较低。在相同的研究区域出现不同的相关距离是由空间异质性在各年的差异所导致的, 这种空间异质性的差异包括寄主作物的空间分布、气象条件的不同等等; 而空间变异成分所占比例偏低(相对于随机性成分)是由两方面的因素导致的: 一是各年的样点数多为 30 个左右, 参与插值的样点数偏少。一般而言, 参与插值的样点数越多估值越准确, 越少误差越大。二是各地发生数量差异较大, 数据方差较大, 随机性增大。但从结果仍可以看到空间结构成分在各年仍占有相当的比例, 其中最高的有 61.67%(1991 年)。

在空间相关性分析的基础上, 我们模拟了卵在各年的空间分布, 这种模拟不是简单的距离加权, 而是建立在对整个研究区所有抽样点的空间相关分析基础上的。不仅对单一变量进行简单的克里格插值, 也应用了协同克里格方法, 它综合考虑了影响卵量变化的其它变量并比较了各种方法和模型的基础上对卵的密度进行模拟, 因而最大限度的降低了模拟的误差, 提高了模拟的精确性。

就本项研究而言, 通过对 18 年的卵的密度数据的分布模拟, 我们可以从时空两个角度直观地分析它的动态变化, 即可以定性地判断和定量地分析并确定卵的数量在不同年份的发生程度及变化, 确定同一年份卵在空间是如何分布的, 重发生地位于何处。同时间序列相比, 空间分布及变化的研究不仅能够说明时间序列常用的平均的数量动态, 还提供了空间连续的数量分布及详细的地理环境信息。但空间分布的模拟并不只是了解一下害虫的动态信息, 更重要的是揭示害虫时空动态的内在机制, 并为

害虫的宏观管理和预警奠定基础。因此, 还需要结合地理和气象等因子对害虫时空分布及变化的原因作进一步的分析。

就棉铃虫而言, 影响其种群动态的因子很多, 其中包括地理的如所在区域的地理位置、地势, 气象的如温度和降雨, 植被覆盖如寄主作物的种类及其种植比例, 人为因素如耕作制度等, 这些因子在空间的分布及变化将直接或间接地影响棉铃虫的种群数量, 或者说棉铃虫种群数量在时间和空间上的变化是这些因子综合作用的结果。

许多研究表明: 虫源基数、食料和气候条件是影响棉铃虫种群动态的三个主要因素, 在虫源基数、食料相对稳定的条件下, 气候条件即温度和降雨成为影响其发生的关键(华尧楠, 1995; 华尧楠等, 1996)。棉铃虫在 1990 年代的发生数量显著高于 1980 年代, 其主要原因就是气候条件的变化(夏敬源, 1994; 秦淑莲等, 2003)。棉铃虫适于半干旱地区, 成虫繁殖喜高温高湿, 而进入 1990 年代以来, 冬季普遍偏暖, 翌年春季气温回升快。气温升高缩短了各代虫的发育历期, 使各代发生期提前, 暴发机率增大(谢宝瑜等, 1996)。

研究区棉铃虫重发生地位于西部及西南部分地区, 这些地区的主要特点是多山、植被丰富、小麦种植比例高以及 6 月降雨量偏少。多样性的寄主可以为棉铃虫一代幼虫提供丰富的食料, 同时也提供了避护场所和转移为害的条件(谢宝瑜等, 1996), 而 6 月降雨量偏少则有利于二代棉铃虫的生长和繁殖, 从而也容易导致二代在棉田的发生数量偏重。

参 考 文 献(References)

- Cheng XY, Yang CR, 1992. Prediction of overwintering striped rice borers by fuzzy-analysis. *Journal of Anhui Agricultural College*, 19(3): 308-312. [程新意, 杨崇瑞, 1992. 用模糊分析方法预测越冬代二化螟的发生量. 安徽农学院学报, 19(4): 308-312]
- Ding YY, Zhang ZC, 1994. Population dynamics of the third generation cotton bollworms in corn fields of north China with reference to its effect to cotton fields. *Acta Entomologica Sinica*, 37(3): 305-310. [丁岩钦, 张占川, 1994. 华北棉区玉米田三代棉铃虫种群动态及其对棉田发生为害的作用分析. 昆虫学报, 37(3): 305-310]
- Ge SK, Li DM, Zhang GX, 2000. A study on spatial structures of the adult population of the cotton bollworm (*Helicoverpa armigera*). *Acta Ecologica Sinica*, 20(3): 485-489. [葛绍奎, 李典谟, 张广学, 2000. 棉铃虫成虫种群空间结构的研究.

- 生态学报, 20(3): 485 - 489]
- Gong XH, Wang RH, Yong BJ, 1997. Time series optimum seeking method used in the ultra-long-range forecast of occurring trends of cotton bollworm. *Application of Statistics and Management*, 16(5): 10 - 13. [宫锡鸿, 王荣花, 勇本姣, 1997. 时间序列优选法在棉铃虫发生趋势超长期预测中的应用. 数理统计与管理, 16(5): 10 - 13]
- Hohn ME, Liebhold AM, Gribko LS, 1993. A geostatistical model for forecasting the spatial dynamics of defoliation caused by the gypsy moth, *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae). *Environ. Entomol.*, 22: 1 066 - 1 077.
- Hua YN, 1995. The key factors analysis of outbreak for the cotton bollworm (*Helicoverpa armigera*) during 1992 to 1994. *Shandong Agricultural Sciences*, 3: 28 - 30. [华尧楠, 1995. 1992 ~ 1994 年棉铃虫猖獗发生关键性因子分析. 山东农业科学, 3: 28 - 30]
- Hua YN, Wang HZ, Xiao YL, 1996. Impacts of the meteorological factors to population dynamics of the cotton bollworm (*Heliothis armigera*). *Chinese Agricultural Meteorology*, 17(1): 38 - 40. [华尧楠, 王厚振, 肖云丽, 1996. 气象因素对棉铃虫种群数量变动的影响. 中国农业气象, 17(1): 38 - 40]
- Huang RH, Ye ZX, Liu XB, Zhang YW, Zhang XG, 1995. The long-term prediction of emergence size of *Heliothis armigera* by multitime stepwise regression periodic analysis. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 7(2): 142 - 146. [黄荣花, 叶正襄, 刘细保, 张耀文, 张献国, 1995. 用多次逐步回归周期分析法进行棉铃虫发生量的长期预测. 江西农业学报, 7(2): 142 - 146]
- Liebhold AM, Zhou G, Ravlin FW, Roberts A, Reardon R, 1998. Forecasting gypsy moth defoliation with a geographical information system. *J. Econ. Entomol.*, 91: 464 - 472.
- Lu YY, Liang GW, 2002. The spatial pattern of the cotton bollworm eggs with geostatistics. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 21(1): 13 - 17. [陆永跃, 梁广文, 2002. 棉铃虫卵空间分布的地理统计学分析. 华中农业大学学报, 21(1): 13 - 17]
- Qin SL, Zhai BP, Zhang XX, Qu XF, Jiang YY, 2003. Teleconnection between sea surface temperature in North Pacific and outbreaks of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) in Northern and Eastern China: an approach for long-term forecast. *Acta Entomologica Sinica*, 46(4): 479 - 488. [秦淑莲, 翟保平, 张孝羲, 屈西峰, 姜玉英, 2003. 棉铃虫发生与北太平洋海温的遥相关及其长期灾变预警. 昆虫学报, 46(4): 479 - 488]
- Wang HK, Wang Q, Cheng XN, Wang MT, Wu XY, 1998. Application of geographical information system in analyzing the dynamic of the brown planthopper in Jiangsu Province. *Journal of Southwest Agricultural University*, 20(5): 432 - 437. [王海扣, 王群, 程遐年, 王茂涛, 吴晓毅, 1998. 应用地理信息系统分析江苏褐飞虱的发生动态. 西南农业大学学报, 20(5): 432 - 437]
- Wang ZJ, Cheng JA, Shi Z, 2000. Spatial distribution pattern and dynamics of egg masses of the 1st generation of *Chilo suppressalis* (Walker) in the 1st rice crop season in Zhejiang Province. *Journal of Zhejiang University (Agric. & Life Sci.)*, 26(5): 465 - 473. [王正军, 程家安, 史周, 2000. 早稻二化螟一代卵块的区域性空间分布格局及动态. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 26(5): 465 - 473]
- Wu KJ, Gong PY, 2001. Water loss dynamics during the pupal stage of the cotton bollworm at extreme humidities. *Acta Entomologica Sinica*, 44(4): 512 - 517. [吴坤君, 龚佩瑜, 2001. 棉铃虫蛹期在极端湿度下的失水动态. 昆虫学报, 44(4): 512 - 517]
- Xie BY, Li DM, Ding YQ, Meng LX, 1996. Controls of the cotton bollworm (*Heliothis armigera*) in cotton cropping areas of the north China. *Biology Bulletin*, 31(4): 8 - 11. [谢宝瑜, 李典谟, 丁岩钦, 孟祥玲, 1996. 中国华北棉区棉铃虫的防治问题. 生物学通报, 31(4): 8 - 11]
- Xia JY, 1994. Strategy of areawide pest management for outbreak of cotton bollworm (*Heliothis armigera*). *Acta Gossypii Sinica*, 6(1): 1 - 6. [夏敬源, 1994. 控制棉铃虫爆发成灾的 APM 对策. 棉花学报, 6(1): 1 - 6]
- Zhai LR, Ding YQ, Li DM, 1992. Studies on the foraging behavior of *Helicoverpa armigera* (Hübner) and damaged fruiting structures in cotton fields of north China. *Acta Entomologica Sinica*, 35(3): 257 - 266. [翟连荣, 丁岩钦, 李典谟, 1992. 华北棉区棉田中棉铃虫的取食行为及为害特征的研究. 昆虫学报, 35(3): 257 - 266]
- Zhou G, Liebhold AM, 1995. Forecasting gypsy moth defoliation with a geographical information system. *Entomologica Sinica*, 2: 83 - 94.
- Zhou Q, Zhang RJ, Gu DX, Zou SF, Xu QF, 2001. Spatial structure and pattern of *Nilaparvata lugens* population in large-scale. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 12(2): 249 - 252. [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]
- Zhou Q, Zhang RJ, Gu DX, 2003. Spatial distribution patterns of the white-backed planthopper in rice fields. *Acta Entomologica Sinica*, 46(2): 171 - 177. [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]