

基于沿海蝗区飞蝗卵块分布格局的土壤空间异质性

季 荣<sup>1,2</sup>, 李典谟<sup>2,\*</sup>, 谢宝瑜<sup>2</sup>, 李 哲<sup>2</sup>, 原 惠<sup>1</sup>

(1. 新疆师范大学生命与环境科学学院, 乌鲁木齐 830054 2. 中国科学院动物研究所, 北京 100080)

**摘要** :以沿海蝗区南大港水库为研究区域,通过连续 2a 野外 450 m ,50 m 规则栅格取样,利用地统计学方法,在 GIS 平台下,分析东亚飞蝗卵块分布格局与土壤空间异质性的研究。结果表明:(1)飞蝗卵块呈斑块、聚集分布,并具有明显的空间异质性,其空间自相关范围为 390 m,且主要分布在南大港水库的中部和东部,少数分布在南部,而在西部和北部地块几乎没有卵的分布。(2)研究区域内土壤含盐量和 5 cm 含水量由空间自相关引起的空间异质性分别占总空间异质性的 76.15%、78.04%,即表现出较强的空间相关性,空间自相关范围分别为 594 m,621 m,土壤有机质和 pH 值具有中等强度的空间相关性,由空间自相关引起的空间变异分别为 61.85%和 57.19%,空间变异尺度分别为 1014 m,1368 m。(3)研究区域内卵块主要集中在土壤含盐量较低(<1.9%)、含水量适中(10.1%~29.9%)的中部和东部地块,而在土壤含水量较高(>30%)的西部和盐分过重(>3%)的北部几乎没有卵块的分布。即在一定程度上,蝗区土壤理化特性的空间异质决定了飞蝗卵块的空间分布特点。(4)卵块和土壤理化特性的空间格局图不仅为野外抽样调查、蝗灾预测预报及其防治提供科学依据,而且对蝗区环境改造具有重要指导作用。

**关键词** :飞蝗卵块;土壤空间变异;地理信息系统;地统计学;沿海蝗区

文章编号 :1000-0933 (2007)03-1019-07 中图分类号 :Q968.1 文献标识码 :A

Research on soil spatial heterogeneity based on *Locusta migratoria manilensis* egg pods spatial pattern in coastal locust areas

Ji Rong<sup>1,2</sup>, Li Dian-Mo<sup>2,\*</sup>, Xie Bao-Yu<sup>2</sup>, Li Zhe<sup>2</sup>, Yuan Hui<sup>1</sup>

1 College of Life and Environment Sciences, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China

2 Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (3) 1019 ~ 1025.

**Abstract** :The soil spatial heterogeneity was studied by integrating geostatistical analysis and GIS techniques based on *Locusta migratoria manilensis* (Meyen) egg pods distribution pattern in coastal locust areas. Data of egg pods and soil properties, including soil water content at 5 cm, salinity, organic matter and pH, were collected from both spatial scales over two years (2002 and 2003) of extensive surveys :450m intervals throughout the study area, then 50m grids for possible egg-laying areas which were located at the areas damaged by the locust plague or covered with sparse vegetation. Results showed that :1) the spatial distribution of locust egg pods, mainly located at middle- and east areas, was patchy and

基金项目 :国家自然科学基金资助项目 (30460028);教育部科技研究重点资助项目 (206165);新疆维吾尔自治区高校科研资助项目 (XJEDU2005I23, XJEDU2004S20)

收稿日期 :2006-02-26;修订日期 :2006-07-25

作者简介 :季荣 (1970~),女,江苏泰兴人,博士,副教授,主要从事种群生态学及害虫遥感监测研究。E-mail :jirongxj@yahoo.com.cn

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail :lidm@ioz.ac.cn

**Foundation item** :The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30460028);Scientific Research Program of the Ministry of Education of China (No. 206165);Scientific Research Program of the Higher Education Institution of XinJiang (No. XJEDU2005I23, XJEDU2004S20)

**Received date** 2006-02-26 ; **Accepted date** 2006-07-25

**Biography** :Ji Rong, Ph. D., mainly engaged in population ecology and monitoring pests by remote sensing. E-mail :jirongxj@yahoo.com.cn

aggregated. Egg pods in the field showed high heterogeneity and spatial autocorrelation was at a distance of about 390 m. 2) Spatial heterogeneity of autocorrelation in total spatial heterogeneity in soil water content at 5 cm, salinity, organic matter and pH were 76.15%, 78.04%, 57.19% and 61.85% respectively, and the scales of spatial heterogeneity were 621 m, 594 m, 1014 m and 1368 m respectively. 3) Locust egg pods were mainly located at middle-and east areas where soil salinity was lower ( $<1.9\%$ ) and soil water content was moderate at 5 cm (10.1%—29.9%) for locust oviposition. Whereas no egg pods were found at west and north areas because of high soil water content at 5 cm ( $>30\%$ ) and salinity ( $>3\%$ ). In a way, the spatial distribution pattern of locust egg pods mainly depended on the soil heterogeneity at the study area. 4) Spatial pattern maps of egg pods and soil properties, driven by block kriging, may provide useful information on sampling in the field, forecasting and monitoring locust plague and reclaiming the environment of locust areas.

**Key Words:** locust egg pods; soil spatial variability; geographical information system; geostatistics; coastal locust areas

土壤是构成蝗区生境要素的重要组成部分,空间异质性是土壤属性之一,也是影响生物空间分布格局的重要因素之一。东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis* (Meyen) 产卵于土壤中,土壤质地、含水量和含盐量等理化性质不仅影响蝗虫种群的分布、蝗虫产卵场所的选择和蝗卵胚胎的发育进程,而且飞蝗卵块的空间分布特征如种群数量、斑块大小和形状等都与土壤在不同空间位置上的各种物理和化学特性有着重要联系<sup>[1~5]</sup>。

地统计学是研究那些在空间分布上既有随机性又有结构性的自然现象的科学。与经典统计学不同的是,地统计学的研究对象是区域化变量,区域化变量不是纯随机变量,而是根据其在—个域内的空间位置取不同的值,它是随机变量与位置有关的随机函数。地统计学的应用已由地质学扩展到许多学科中,特别在生物学与生态学的空间现象研究中起着重要作用<sup>[6]</sup>。应用地理信息系统可以把大区域范围内样点的属性数据同地理数据结合起来,从而使大尺度上分析研究对象的分布格局和变异规律变得较为方便<sup>[7,8]</sup>。

基于地理信息系统和地统计学的飞蝗卵块分布格局与蝗区土壤理化特性空间异质性的研究报道很少,而掌握卵块空间分布格局、土壤理化性质的空间变异规律及两者之间内在的关系,不仅可确定一定尺度下两者取样的最佳密度,而且可提前预测蝗虫产卵最适宜的空间范围,同时也是改造蝗区环境和评价遥感技术应用能力的依据。

本研究以目前占我国蝗区面积比例最大、蝗灾发生最严重的沿海蝗区为例<sup>[9]</sup>,以国家一类蝗区(即常年重点防治地区)——河北黄骅南大港为研究区域,通过连续两年(2002年和2003年)东亚飞蝗越冬卵块数据和土壤理化性质的野外调查,采用地统计学方法,在GIS平台下,进行卵块分布格局和土壤特性空间异质性的研究,旨在揭示沿海蝗区卵块的空间分布格局、土壤理化性质的空间变异规律及其两者之间的关系,为区域蝗灾预测、防治及对蝗区环境进行改造提供科学依据。

## 1 研究方法

### 1.1 研究区概况

南大港水库(N38°28.04'~N38°33.54', E117°25.74'~E117°32.78')位于河北省黄骅市南大港国营农场境内,东临渤海,属于泻洪入海口区域,地势低洼,面积约4700 hm<sup>2</sup>。近10a来,由于降雨量减少、地下水利用过度、人工蓄水不足等原因,库区内除低洼地和防火沟里有季节性的积水外,常年无水。研究区域年均气温11.9℃,年均降水量62.7 cm。南大港水库内植被以芦苇为主,东亚飞蝗1年2代,以卵越冬<sup>[2,10]</sup>。

南大港国营农场是典型的沿海蝗区,也是历史上有名的老蝗区及东亚飞蝗的主要发生基地之一<sup>[2]</sup>。在蝗灾严重发生的年份,蝗蝻最高密度达8000头/m<sup>2</sup><sup>[11]</sup>。南大港农场已被列为国家一类蝗区,即常年防治的重点地区<sup>[7]</sup>。

### 1.2 数据采集与处理

数据调查分别在2002年和2003年10月下旬或11月初秋蝗产卵盛期或刚结束进行(尽可能保证在没有任何形式的降水之前)。对整个研究区域采取450 m的栅格取样,共计289个样点(图1)。调查时每一样方内

随机抽取 5 个 50cm × 50cm × 10cm 的样点以求其所测环境变量的平均值。其次对有可能产卵的区域(裸露地、稀疏植被地、向阳坡、芦苇严重受害处)采用 50 m 的规则栅格取样。两种抽样尺度下,现场记录的参数包括卵块有无和密度及土壤 5 cm 的湿度(TSC-II™智能野外湿度仪),然后取约 500 g 土样装袋、密封和标记,带回室内。在调查过程中,每一样点的经纬度信息用 GPS 准确记录,2002 年所有调查点在 2003 年重复调查。

室内所测土壤的理化性质包括:

- ① 土壤类型 测定粒径大小及所占百分比。
- ② 总盐及八大离子含量 土壤样品风干后过 1 mm 筛,然后以 5:1 的水土比进行抽滤浸提,测定土壤盐分及其组成<sup>[12]</sup>,全盐量以土壤中八大离子的重量总和计算,各离子的测定方法分别为 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>:火焰光度计法, Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>:原子吸收分光光度计法, Cl<sup>-</sup>:莫尔法, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>:双指示剂法, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>:EDTA 容量法。
- ③ pH 值 通过水土 = 2.5:1 电极法测定。
- ④ 有机质含量 重铬酸钾容量法。

研究主要采用块段克立格法(Block Kriging,如果估计的不是某一点  $X_0$  的值,而是以  $X_0$  为中心块段的平均值)进行空间插值。克里格插值是一种最佳的空间局部估计方法,综合考虑变量的随机性和结构性,其具体方法和原理在许多文献中都有详细的描述<sup>[13~16]</sup>。其次,检验数据的正态分布是使用地统计学克立格方法的前提,只有当数据呈正态分布时,克立格方法才是可行的。本文利用 SPSS 统计软件中的 P-P 正态概率图法对数据进行检验<sup>[17]</sup>。

将最新南大港水库地形图(1:15000)数字化,并将地图上由河北省沧州水文资源勘测局所测的 312 个点的海拔高程在 ArcGIS 下进行空间插值以得到其二维平面图<sup>[18]</sup>。

2 结果与分析

2.1 卵块种群的变异函数模型及空间分布格局

采取 450 m、50 m 栅格取样分别获得 289、2601 个样点。图 1 是在 GIS 下将所有样点与研究区域海拔高程图叠加所得。进行地统计学分析时,主要以 50 m 栅格取样得到的卵块数据(有、无及密度)为依据(2002 年 593 个,2003 年 317 个)。在 ARCGIS (ver. 8.1)下计算实际变异函数的值  $\gamma^*(h)$ ,绘制实际变异函数曲线,选择不同模型拟合后从中选出最优的变异函数理论模型。表 1 结果表明,2002 年和 2003 年卵块种群变异函数曲线均为典型的球状模型,但用来描述变异函数曲线的重要参数即块金值( $C_0$ )、基台值( $C_0 + C$ )和变程( $a$ )却存在较大差异。基台值  $C + C_0$  和块金值  $C_0$  可用来描述空间异质性程度, $C + C_0$  表示系统属性或区域化变量最大变异, $C + C_0$  值越大,表示总的空间异质性程度越高。但是当不同区域化变量相比较时,基台值  $C + C_0$  并不有效,因为基台值受自身因素和测量单位的影响较大,即不同区域化变量的基台值不具可比性。块金值  $C_0$  表示随机部分的差异,较大的块金值表明较小尺度上的某种过程不可忽视,与基台值相似,块金值也不能用于比较不同变量间的随机性方面的差异<sup>[6,19]</sup>。但是块金值与基台值之比  $C_0 / (C + C_0)$  反映的是块金方差占总空间异质性变异的大小,则非常有意义<sup>[20]</sup>。如果该比值较高,说明随机部分引起的差异较高,如果比值接近于 1,则景观中某一变量在整个尺度上具有恒定的变异。变程  $a$  是测定因子最大变异的空间距离,在变程之内空间自相关存在,在变程之外,空间自相关消失<sup>[6]</sup>。

表 1 表明东亚飞蝗卵块具有明显的空间异质性,且由空间自相关引起的空间异质性占主要部分(> 60%),但两年的空间变异范围不同,2002 年的空间自相关尺度(452 m)明显大于 2003 年的 328 m。在二维

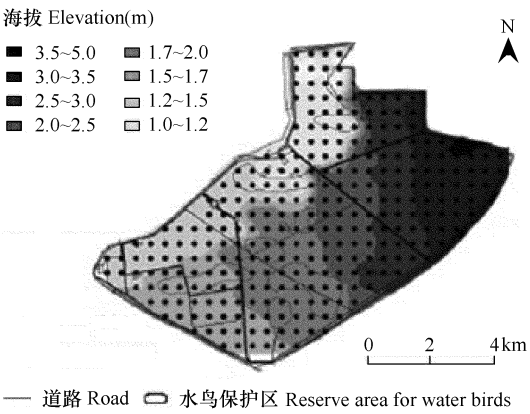


图 1 样点与南大港水库高程图层叠加  
Fig. 1 Sketch Map of the study area with elevation as background and 289 sites for 450m grid

平面上,飞蝗卵块的空间异质性就是该种群的空间分布格局,根据变异函数理论模型,通过空间局部估计 Kriging 法绘制研究区域卵块的空间格局。在进行 kriging 空间插值时,同时考虑了两年的卵块数据,即只要一样点在调查中出现卵(2002 年或 2003 年),则把卵块数量(密度)作为源数据进行插值,若在 2002 年和 2003 年都有卵,则采用 2002 年的数据,以此建立一个新的数据库,经检验数据服从正态分布后,利用块段克立格法进行空间局部估计,绘制出研究区域卵块数量的空间分布格局如图 2。

表 1 东亚飞蝗卵块变异函数理论模型及有关参数

Table 1 Theoretical models of variograms and parameters of *Locusta migratoria manilensis* egg pods

变量 Variables	理论模型 Theoretical model	$C_0$	$C + C_0$	$C_0/C + C_0$	$a$ (m)	$R^2$
2002 卵块 Egg pods in 2002	球状模型 Spherical model	0.6687	2.4158	0.2768	452	0.839
2003 卵块 Egg pods in 2003	球状模型 Spherical model	0.2989	0.7756	0.3854	328	0.673

$C_0$ 为块金常数 Nugget,  $C_0 + C$  为基台值 Sill,  $a$  为变程 Range,  $R^2$  为决定系数 Decisive Coefficient

图 2 表明,飞蝗卵块种群呈聚集分布,并形成聚集程度极不均匀的斑块(patch),各斑块大小、形状及空间分布具有显著差异,但卵块密度由低到高的分布梯度规律总存在。斑块中心到边缘种群密度的梯度变化既反映出飞蝗卵块种群的聚集强度,又反映了格局的空间尺度。飞蝗卵块主要分布在南大港水库的中部和东部,少数分布在南部,而在水库西部和北部几乎没有卵块的分布。

2.2 土壤特性各要素的描述性分析

测试结果表明,研究区域的土壤属于粉砂壤土,根据 1975 年我国拟定的土粒分级标准<sup>[21]</sup>,研究区域土壤砂粒(粒径 0.05 ~ 1 mm)、粗粉粒(粒径 0.01 ~ 0.05 mm)和粘粒(粒径 < 0.001 mm)的平均含量分别为 18.3%、49.96% 和 7.79%。由表 2 可知,土壤含盐量的变异系数最高为 46.35%,土壤含水量次之为 27.99%,土壤有机质和 pH 值较低,分别为 15.28% 和 12.69%。南大港水库位于渤海之滨,处于海陆交错地带,地面高程虽然变化不大,但小地貌变化多端,造成地形地势起伏不平。研究区域内降雨量主要集中在 6 ~ 8 月份,地表蒸发强烈,导致土壤含盐量和含水量在年际、月份间甚至在一场降水后都会发生明显的变化,这亦是造成两者变异系数较大的主要原因。土壤有机质和 pH 值变异系数较小,这可能是因为南大港水库内几乎没有任何农事措施如施肥、耕作等人为活动,因而两者主要受当地土壤母质和土壤类型的影响。

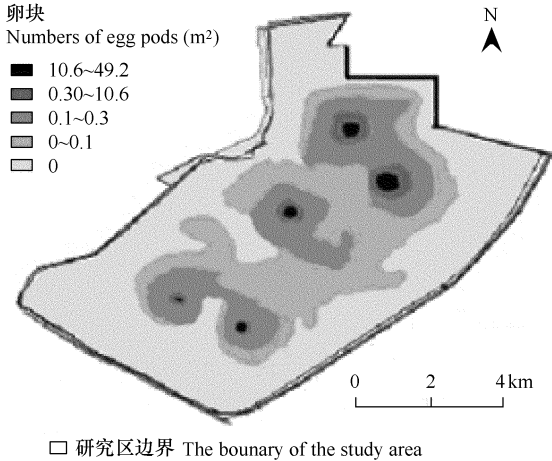


图 2 南大港水库蝗虫卵块空间分布格局  
Fig. 2 Spatial pattern of locust egg pods in Nandagang reservoir

表 2 土壤特性的统计特征值

Table 2 Statistical feature values of soil properties

统计特征 Statistical feature	样本数 Numbers	最大值 Max.	最小值 Min.	平均值 Mean	标准差 S. D.	变异系数 (%) C. V.
含水量 Water content (%)	289	49.90	5.50	25.07	7.02	27.99
含盐量 Salinity (%)	289	5.92	0.09	1.27	0.59	46.35
pH 值 pH value	289	7.99	7.36	7.61	0.97	12.69
有机质 Organic matter (%)	289	4.73	1.40	3.38	0.52	15.28

2.3 土壤特性各要素变异函数模型及空间分布格局

采用方法同 2.1 结果分别见表 3 和图 3。所测土壤的 4 种理化性质具有明显的空间自相关性,且变异函数模型均为球状模型,但空间自相关变化的尺度不同。土壤含水量和盐分分别为 621 m 和 594 m,土壤 pH 值和有机质空间自相关范围较大,分别为 1014、1368 m。块金值与基台值之比  $C_0/(C+C_0)$  表明,土壤含盐量、5 cm 含水量、有机质和 pH 值由空间自相关引起的空间异质性分别占总空间异质性的 76.15%、78.04%、61.85% 和 57.19%,说明 4 种理化性质由结构性因素引起的空间异质性占主要部分。

表 3 土壤特性各要素变异函数理论模型及其空间变异函数

Table 3 Best-fitted semivariogram models of soil properties and corresponding parameters						
土壤特性 Soil properties	理论模型 Theoretical model	$C_0$	$C+C_0$	$C_0/(C+C_0)$	$a$ (m)	$R^2$
含水量 (%) Water content	球状模型 Spherical model	19.06	79.92	0.2385	621	0.741
含盐量 % Salinity	球状模型 Spherical model	27.52	125.32	0.2196	594	0.826
pH 值 pH value	球状模型 Spherical model	6.12	16.04	0.3815	1368	0.945
有机质 (%) Organic matter	球状模型 Spherical model	9.23	21.56	0.4281	1014	0.907

$C_0$  为块金常数 Nugget,  $C_0+C$  为基台值 Sill,  $a$  为变程 Range,  $R^2$  为决定系数 Decisive Coefficient

经检验土壤含水量、含盐量、pH 值和有机质的数据均服从正态分布,于是根据所得到的半方差函数模型,利用块段克立格插值法对土壤特性进行最优内插,绘制出空间分布图(图 3)。

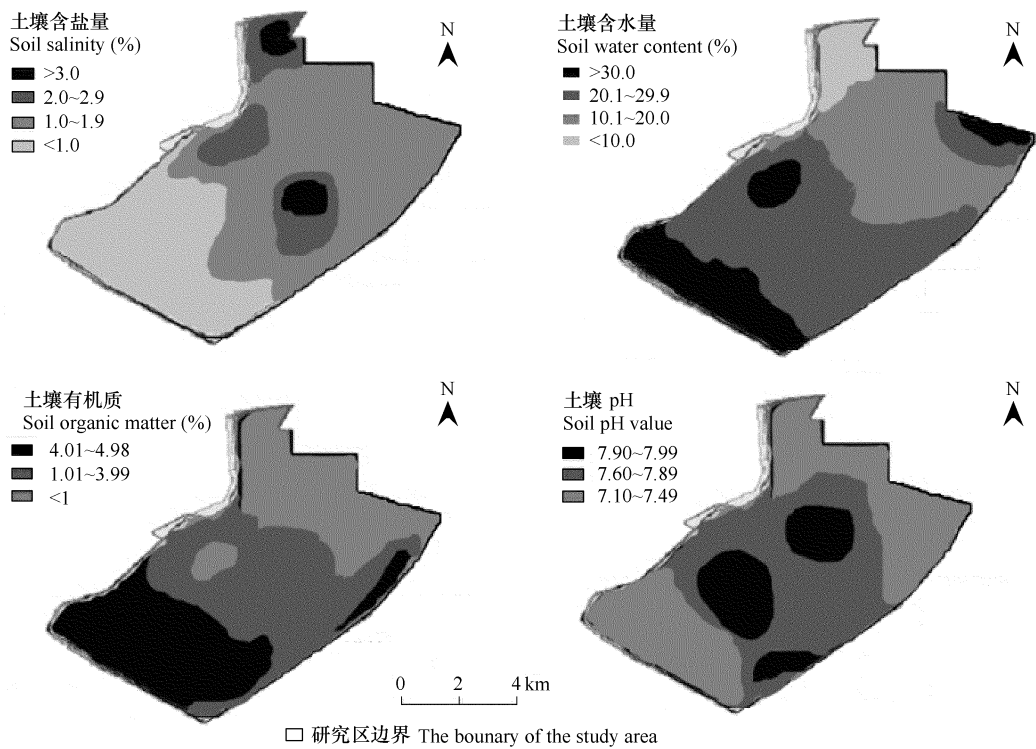


图 3 土壤各特性的空间分布  
Fig. 3 Spatial distribution of soil properties

从图 3 中可以看出研究区域内土壤各特性的空间分布情况,土壤含盐量北部高,西部低,另一个高盐区分布在中部偏南。湿度较大的地块主要成片分布在地势较低的西部,最干旱的地块在北部。土壤有机质和 pH 值在南大港水库内成片分布,前者西部较高,东北部最低,而 pH 值是中部高,东北和西部偏低,南大港水库内不同有机质含量和 pH 值不同的地块所占面积相近。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 东亚飞蝗卵块和土壤 4 种理化特性都表现出不同程度的空间相关性

块金值与基台值的比值可表明系统变量的空间相关性程度。如果比值  $< 25\%$  ,说明系统具有强烈的空间相关性 ;如果比值在  $25\% \sim 75\%$  之间 ,表明系统具有中等的空间相关性 ;若  $> 75\%$  说明系统空间相关性很弱。研究结果显示南大港水库内飞蝗卵块、土壤有机质和 pH 值具有中等空间相关性 ,土壤含水量和含盐量表现出较强的空间相关性。分析原因 ,土壤空间异质性是由结构性因素和随机因素共同作用的结果 ,结构性因素如气候、母质、地形和土壤类型等自然因素可导致土壤具有强的空间自相关性 ,而随机因素如人为活动使得土壤空间相关性减弱 ,朝均一化方向发展。研究区域内除每年在 11 月份进行机械收割芦苇外 ,再无任何其它人为农事活动。因此 ,南大港水库土壤不同理化特性均表现出中等或较强的空间相关性。

#### 3.2 东亚飞蝗卵块分布格局与土壤空间异质性的关系

东亚飞蝗卵块的分布格局除与飞蝗生物学特性有关外 ,与蝗区土壤空间异质有密切关系 ,土壤理化特性的地统计学分析有助于深刻揭示飞蝗卵块空间格局形成的机制。飞蝗卵块密度斑块的分布与土壤在空间上的变化有一定关系 ,在一定程度上 ,是蝗区土壤理化特性的空间异质决定了飞蝗卵块的空间分布特点。图 2 和图 3 结果表明 ,研究区域内卵块主要集中在土壤含盐量低 ( $< 1.9\%$  )、含水量适中 ( $10.1\% \sim 29.9\%$  )的中部和东部地块 ,而在土壤平均含水量过高 ( $> 30\%$  )的西部和盐份过重 ( $> 3\%$  )的北部几乎没有卵块的分布。而土壤有机质和 pH 值不是影响飞蝗产卵场所选择的主要因素。其次 ,斑块尺度的大小在一定程度上可反映出东亚飞蝗产卵盛期生境变量对其产卵行为的适合度 ,其中土壤含水量是影响飞蝗选择适宜产卵场所的最主要因素之一。表 1 可看出 2002 年和 2003 年卵块由空间自相关引起的空间变异性占总空间异质性的比例和空间自相关范围均不同 ,这可能因为在 2003 年秋蝗产卵盛期 ,整个华北地区普降大雨 ,研究区域 3d 内降雨量达到 30 cm ,致使卵块主要集中分布在地势较高、土壤含水量和含盐量适宜的东部和中部 ,而在正常年份如 2002 年 ,除上述地块外 ,飞蝗还将卵产在地势较低的南部。

#### 3.3 飞蝗卵块和土壤理化特性空间分布图在实践中的应用

通过地统计学变异函数分析和克里格法制图 ,得到研究区域内卵块、土壤 4 种理化特性的空间分布尺度、空间排列方式和空间结构。东亚飞蝗卵块空间分布格局图 (即最有可能发生蝗灾的区域)显示蝗卵主要分布在南大港水库的中部和东部 ,少数分布在南部 ,而在水库西部和北部几乎没有卵块的分布。该图较为准确地描述了区域尺度上蝗卵的空间分布形状、大小、地理位置及相对位置等信息 ,这不仅是对卵块进行科学抽样的基础 ,亦是对蝗虫发生预测预报和有效控制蝗灾如早期监测和点片防治的科学依据。

4 种土壤理化性质的空间分布格局图表明 ,研究区域内高盐区 ( $> 3\%$  )有两个斑块 ,位于水库的西北角和中部偏南。含盐量介于  $1.09\% \sim 1.99\%$ 、 $2.05\% \sim 2.97\%$  和  $< 1\%$  的分别占总面积的  $43.1\%$ 、 $23.4\%$  和  $20.2\%$ 。南大港水库内土壤含水量的分布差异也较大 ,水库内东部和西北部的局部地块含水量高达  $50\%$  ,而在北部和南部地块的含水量则  $< 10\%$ 。从图 1 和图 3 可以看出 ,南大港水库东部地势最高 ,但其含水量也偏高 ,这是因为在南大港水库东部仅一条马路之隔就有几个人工养虾池 ,导致地下水位较浅 ,土壤湿度较大。图 3 直观地描绘了南大港水库 4 种土壤理化特性的空间分布状况 ,故对合理确定野外土壤取样的尺度和数目及对蝗区进行改造具有重要指导作用。

#### References :

- [1] You Q J ,Guo F ,Chen Y L , *et al.* Habits of *Locusta migratoria manilensis* (Meyen) . Acta Entomologica Sinica ,1958 ,8 (2) :119 — 135.
- [2] Ma S J , *et al.* Studies on Breeding Areas of the Oriental Migratory Locust in China. Beijing : Science Press ,1965. 1 — 335.
- [3] Guo F ,Chen Y L ,Lu B L ,The Biology of the Migratory Locusts in China. Jinan Shandong Science and Technology Press ,1991.
- [4] Shi R X ,Liu C ,Li D M , *et al.* Distribution of *Locusta migratoria manilensis* and soil in the locust plague area at Baiyangdian. Entomological Knowledge ,2004 ,41 (1) 29 — 33.
- [5] You D S ,Ma S J. Relationship of the oriental migratory locust oviposition to soil salinity. Acta Phytopylacica Sinica ,1964 ,3 :333 — 344.

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

[7 ] Liebhold A M ,Rossi R E ,Kemp W P. Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. Annual Review of Entomology , 1993 ,38 303 — 327.

[8 ] Jiang J J ,Ni S X ,Wei Y C. Knowledge based grasshopper habitat classification approach supported by GIS in QingHai Lake region. Journal of Remote Sensing ,2002 ,6 ( 5 ) 387 — 392.

[9 ] Zhu E L ,Occurrence and Management of the Oriental Migratory Locust in China. Beijing :China Agriculture Press ,1999. 3 — 38.

[10 ] Li Y D. Hydraulic Annals of Nandagang State Farm. Tianjin :Tianjin People Press ,1993.

[11 ] Ji R ,Xie B Y ,Li Z ,et al. Reasons and characteristics of outbreaks of the Oriental migratory locust plague in Nandagang , Hebei Province. Entomological Knowledge 2002 ,39 ( 6 ) 430 — 433.

[12 ] Institute of Soil Science of Chinese Academy of Science. Analysis on the Soil Physical and Chemical Properties. Shanghai :Shanghai Science Press , 1978.

[13 ] Wang Z Q ,Wang Q C. The spatial heterogeneity of soil physical properties in forests. Acta Ecologica Sinica ,2000 ,20 ( 6 ) 945 — 950.

[14 ] Guo X D ,Fu B J ,Ma K M ,et al. Spatial variability of soil nutrients based on geostatistics combined with GIS — A case study in Zunhua City of Hebei Province. Chinese Journal of Applied Ecology ,2000 ,11 ( 4 ) :557 — 563.

[15 ] 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.

[16 ] Zong S X ,Luo Y Q ,Xu Z C ,et al. Geostatistical analysis on spatial distribution of *Holcocerus hippophaecolus* eggs and larvae. Acta Ecologica Sinica ,2005 ,25 ( 4 ) 831 — 836.

[17 ] Lu W D ,Zhu Y L ,Sha J. SPSS for Windows from Introduction to Familiarity. Beijing :Publishing House of Electronics Industry ,1997.

[18 ] Ji R ,Zhang X ,Xie B Y ,et al. Use of MODIS data to detect the Oriental migratory locust plague : A case study in Nandagang , Hebei Province. Acta Entomologica Sinica ,2003 ,46 ( 6 ) 713 — 719.

[19 ] Trangmar B B ,Yost R S ,Uehara G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properites. Advanced Agronomy ,1985 ,38 44 — 94.

[20 ] Li H ,Reynolds J F. On definition and quantification of heterogeneity. Oikos ,1995 ,73 ( 2 ) 280 — 284.

[21 ] Li T J ,Zheng Y S. Soil Geography (2th edition ). Beijing : Higher Education Press ,1983. 21 — 25.

参考文献：

[1 ] 尤其傲 郭郭 陈永林 等. 东亚飞蝗的生活习性. 昆虫学报 ,1958 ,8 ( 2 ) :119 ~ 135.

[2 ] 马世骏等. 中国东亚飞蝗蝗区的研究. 北京 科学出版社 ,1965. 1 ~ 335.

[3 ] 郭郭 陈永林 卢宝廉. 中国飞蝗生物学. 济南 :山东科学技术出版社 ,1991.

[4 ] 石瑞香 刘闯 李典谟 等. 白洋淀蝗区东亚飞蝗的分布与土壤的关系研究. 昆虫知识 2004 ,41 ( 1 ) 29 ~ 33.

[5 ] 尤端淑 马世骏. 东亚飞蝗产卵及蝗卵孵化与土壤含盐量的关系. 植物保护学报 ,1964 ,3 ( 4 ) 333 ~ 344.

[6 ] 王政权编著. 地统计学及在生态学中的应用. 北京 科学出版社 ,1999.

[8 ] 蒋建军 倪绍祥 韦玉春. GIS 辅助下环青海湖地区草地蝗虫生境分类研究. 遥感学报 ,2002 ,6 ( 5 ) 387 ~ 392.

[9 ] 朱恩林. 中国东亚飞蝗发生与治理. 北京 :中国农业出版社 ,1999. 3 ~ 38.

[10 ] 李贻铎. 南大港农场水利志. 天津 :天津人民出版社 ,1993. 41 ~ 48

[11 ] 季荣 谢宝瑜 李哲 等. 河北省南大港农场 2002 年夏蝗发生特点与原因浅析. 昆虫知识 2002 ,39 ( 6 ) 430 ~ 433.

[12 ] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海 :上海科学出版社 ,1978.

[13 ] 王政权 王庆成. 森林土壤物理性质的空间异质性的研究. 生态学报 2000 ,20 ( 6 ) 945 ~ 950.

[14 ] 郭旭东 傅伯杰 马克明 等. 基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异特征研究. 应用生态学报 2000 ,11 ( 4 ) 557 ~ 563.

[15 ] 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.

[16 ] 宗世祥 骆有庆 许志春 等. 沙棘木蠹蛾卵和幼虫空间分布的地统计学分析. 生态学报 2005 ,25 ( 4 ) 831 ~ 836.

[17 ] 卢文岱 朱一力 沙捷. SPSS for Windows 从入门到精通. 北京 :电子工业出版社 ,1997.

[18 ] 季荣 张霞 谢宝瑜 等. 用 MODIS 遥感数据监测东亚飞蝗灾害——以河北省南大港为例. 昆虫学报 2003 ,46 ( 6 ) 713 ~ 719.

[21 ] 李天杰 郑应顺. 土壤地理学 (第二版 ). 北京 :高等教育出版社 ,1983. 21 ~ 25.