

# 土壤性质空间变异对飞蝗卵块分布格局的影响\*

季 荣<sup>1,2†</sup> 谢宝瑜<sup>2</sup> 李典谟<sup>2</sup> 李 哲<sup>2</sup>

(1 新疆师范大学生命科学与化学学院, 乌鲁木齐 830054)

(2 中国科学院动物研究所农业虫害综合治理国家重点实验室, 北京 100080)

**摘 要** 利用地统计学方法, 在 GIS 平台下研究了沿海蝗区南大港水库土壤空间变异对东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis* 卵块分布格局的影响。结果表明, 研究区域内土壤含盐量、5 cm 土层含水量、土壤有机质和 pH 具有明显的空间异质性, 其中前两者表现出较强的空间相关性, 后两者具有中等强度的空间相关性。飞蝗卵块亦具有明显的空间自相关, 且集中分布在研究区域内土壤含盐量较低 (< 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。表明研究区域内飞蝗卵块的分布与土壤性质在空间上的变化有一定关系, 即蝗区土壤性质空间异质在一定程度上决定了飞蝗卵块的空间分布格局。

**关键词** 土壤空间变异; 卵块空间格局; 地理信息系统; 地统计学; 东亚飞蝗

中图分类号 S154.1 文献标识码 A

土壤受成土母质、地形及人类活动等因素的影响, 使得土壤成为不均一和变化的时空连续体, 即在土壤质地相同的区域内, 土壤特性(物理、化学和生物性质)在同一时刻各个空间位置上的量值不同。土壤要素的空间异质性已成为土壤学研究的重要内容之一<sup>[1~5]</sup>。气候、基质、地形和生物是土壤空间异质形成的主要原因, 同时土壤特性在较大尺度上的变化又决定着大范围土壤生物数量、斑块大小、形状及空间分布等<sup>[6]</sup>。目前基于土壤空间异质的土栖生物的研究主要集中在线形动物、环节动物、节肢动物及土壤微生物等<sup>[7~11]</sup>。

东亚飞蝗产卵于土壤中, 并以卵在土壤中越冬直至翌年春天孵化出土。东亚飞蝗产卵对地形、植被和土壤理化性质等都有明显的选择性。已有研究<sup>[12]</sup>报道飞蝗产卵多选择在植被稀疏的向阳坡, 适宜的土壤含盐量为 0.2% ~ 1.2%、含水量壤土为 15% ~ 18% (砂土为 10% ~ 12%, 粘土为 18% ~ 20%), 当土壤含盐量 > 2%, 土壤湿度 > 25% 或 < 5% 时, 飞蝗不再选择产卵或产卵数显著降低。换言之, 土壤理化特性如土壤质地、水和盐的含量等不仅影响蝗虫发生动态<sup>[6]</sup>, 而且与蝗虫产卵场所的选择

及蝗卵胚胎发育进度密切相关<sup>[13]</sup>。

基于地统计学的有关土壤空间异质对飞蝗卵块分布格局的影响还未见报道。本研究以目前占我国蝗区面积最多、蝗灾发生最严重的沿海蝗区为例, 以国家一类蝗区(常年重点防治地区)河北黄骅南大港为研究区域<sup>[14]</sup>, 通过连续两年(2002 年和 2003 年)土壤理化性质和东亚飞蝗越冬卵块数据的野外调查, 在 GIS 平台下运用地统计学方法, 阐明沿海蝗区土壤特性空间变异规律, 探讨其对飞蝗卵块空间分布格局的影响, 旨在为区域蝗灾预测和蝗区改造提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验区描述

实验区南大港水库 (38°28.04' ~ 38°33.54' N, 117°25.74' ~ 117°32.78' E) 位于河北省黄骅市南大港国营农场境内, 东临渤海, 面积约 4 700 hm<sup>2</sup>。库区内地势低洼, 地面高程 2.9 ~ 3.4 m, 壤性土质, 植被以芦苇为主<sup>[15]</sup>。近 10 a 来, 由于降雨量少、地下水利用过度、人工蓄水不足等原因, 库区内除低洼地和

\* 国家自然科学基金项目(30460028, 30270868)、教育部科技研究重点项目(206165)和新疆维吾尔自治区高校科研资助项目(XJEDU2005123, XJEDU2004S20)资助

† 通讯作者, E-mail: jirongxj@yahoo.com.cn

作者简介: 季 荣(1970~), 女, 江苏泰兴人, 博士, 副教授, 主要研究方向为种群生态学及害虫遥感监测

收稿日期: 2006-05-08; 收到修改稿日期: 2006-07-25

防火沟里有季节性的积水外,常年无水。该水库是南大港农场蝗虫主要发生区,每年高密度的群居型蝗蚬和成虫都主要分布在库区内。研究区域内东亚飞蝗一年两代,以卵越冬<sup>[13]</sup>。

该农场是历史上有名的沿海蝗区,也是目前国家一类蝗区即常年防治的重点地区。在蝗灾严重发生的年份,4~5龄蝗蚬最高密度可达8000头 $m^{-2}$ ,大面积芦苇被危害致只剩茎秆<sup>[16]</sup>,给当地生态、农业和经济造成了严重损失。

## 1.2 数据采集与处理

数据调查分别在2002年和2003年的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450m的栅格取样,共计292个样点(图1)。调查时每一样点内随机抽取5个长50cm、宽50cm、深10cm的样方以求所测土壤理化特性的平均值。其次,对有可能产卵的区域(裸露地、植被稀疏地、向阳坡、芦苇严重受害处)采用50m规则栅格取样。两种抽样尺度下,现场记录的参数有土壤5cm的湿度(TSG-II<sup>TM</sup>智能野外湿度仪,±2%)、卵块有无及其密度。然后取0~5cm土层样土500g装袋、密封和标记,带回室内风干后过1mm筛备用。在调查过程中,每一样点的经纬度信息用GPS(GPSII® Plus, Garmin)准确记录。2002年所有调查点在2003年重复调查。

所测土壤的理化性质包括:(1)颗粒组成;(2)总盐及八大离子含量:以5:1的水土比抽滤浸提,测定土壤盐分及其组成<sup>[17]</sup>,全盐量以土壤中八大离子的质量总和计算,各离子的测定方法分别为: $K^+$ 、 $Na^+$ 用火焰光度计法; $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 用原子吸收分光光度计法; $Cl^-$ 用莫尔法; $CO_3^{2-}$ 、 $HCO_3^-$ 用双指示剂法; $SO_4^{2-}$ 用EDTA容量法;(3)pH以2.5:1的水土比浸提,电极法测定;(4)土壤有机质含量用重铬酸钾容量法。

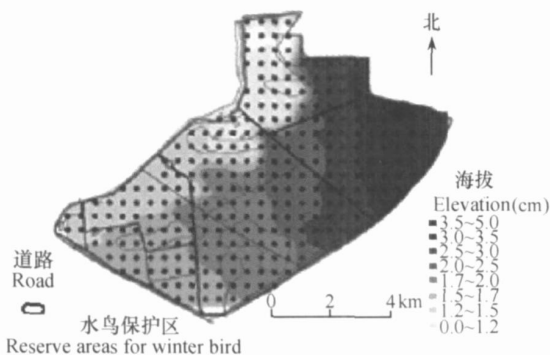


图1 样点与南大港水库高程图层叠加

Fig. 1 Superposition of the elevation map with the sampling sites of the study area

## 1.3 数据分析方法

土壤理化特性的地统计学分析时,以450m栅格取样获得的数据(两年平均值)为依据,飞蝗卵块的空间分布格局则主要以50m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),空间插值时,只要一样点在调查中出现卵(2002年或2003年),则将卵块数量(密度)作为源数据进行插值,若2002年和2003年均无卵,则采用2002年的数据,以此建立一个新的数据库进行空间局部估计。

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和参数。以克里格插值法得到土壤不同理化特性及飞蝗卵块的空间分布格局图。经典统计学用SPSS(Ver. 12.0)软件分析。地统计学方法的计算公式为:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

其中, $\gamma(h)$ 为变异函数, $N(h)$ 为采样点对观察值, $Z(x)$ 为系统属性 $Z$ 在空间位置 $x$ 处的值,是一个区域化随机变量。其具体方法和原理在许多文献中都有较为详细的描述<sup>[18~20]</sup>。空间局部估计采用块段克里格法(Block Kriging)。

将最新南大港水库地形图(1:15000,南大港农场提供,河北师范大学绘制)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个点的高程在ArcGIS下进行空间插值以得到其二维平面图。检验数据的正态分布是使用地统计学克里格方法的前提,只有当数据呈正态分布时,克里格方法才是可行的。本文利用SPSS中的P-P正态概率图法检验数据的正态性<sup>[21]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤特性的统计特征

研究区域土壤砂粒(粒径0.05~1mm)、粗粉粒(粒径0.01~0.05mm)和粘粒(粒径<0.001mm)的平均含量分别为18.3%、50.0%和7.8%,依据1975年我国拟定的土粒分级标准<sup>[17]</sup>,确定研究区域的土壤属于粉砂壤土类型。由表1可知,研究区域内不同地块的含盐量最大值与最小值相差超过50倍,变异系数最大为46.4%,土壤5cm含水量次之为28.0%,土壤有机质和pH较低,分别为15.3%和12.7%。

表 1 土壤特性的统计特征值  
Table 1 Statistical eigenvalues of soil properties

土壤统计特征 Statistical features of soil	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 ( $\text{g kg}^{-1}$ )	292	49.9	5.5	25.1	7.0	28.0%
含盐量 Salt content ( $\text{g kg}^{-1}$ )	292	5.9	0.1	1.3	0.6	46.4%
pH	292	8.0	7.4	7.6	1.0	12.7%
有机质 Organic matter ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	292	4.7	1.4	3.4	0.5	15.3%

## 2.2 土壤各要素变异函数模型及空间分布格局

对土壤含水量、含盐量、pH 和有机质的数据进行正态检验后均服从正态分布, 地统计学分析结果见表 2 和图 2。所测土壤理化性质的 4 个指标具有明显的空

间自相关性, 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, 土壤含盐量和 5 cm 含水量的空间变异范围分别为 594 m 和 621 m, 而土壤 pH 和有机质的空间自相关范围较大, 分别为 1368 m 和 1014 m。

表 2 土壤特性各要素空间变异函数及其变异函数理论模型  
Table 2 Variation functions of soil properties and their theoretical models

土壤特性 Soil properties	理论模型 Theoretical model	$C_0$	$C_0 + C$	$C_0 / C_0 + C$	$a$ (m)	$R^2$
含水量 Water content ( $\text{g kg}^{-1}$ )	球状模型 Spherical model	19.1	79.9	0.24	621	0.74
含盐量 Salt content ( $\text{g kg}^{-1}$ )	球状模型 Spherical model	27.5	125.3	0.22	594	0.83
pH	球状模型 Spherical model	6.1	16.0	0.38	1368	0.95
有机质 Organic matter ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	球状模型 Spherical model	9.2	21.6	0.43	1014	0.91

$C_0$ : 块金方差 Nugget variance;  $C_0 + C$ : 基台值 Sill;  $a$ : 变程 Range;  $R^2$ : 决定系数 Decisive coefficient

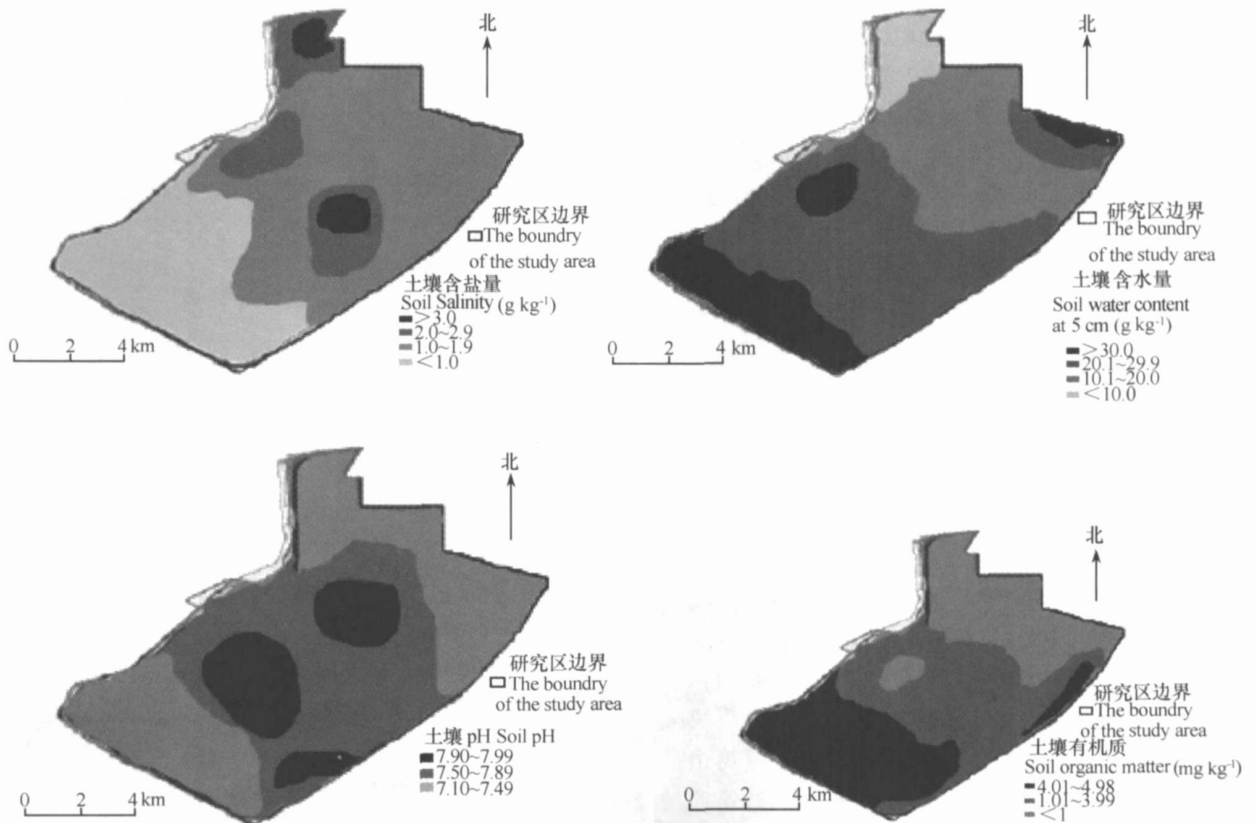


图 2 土壤特性的空间分布图

Fig 2 Spatial distribution maps of soil properties of Nandagang Reservoir, Hebei

块金值与基台值之比  $C_0/(C + C_0)$  可揭示变量的空间变异程度, 比值小于 0.25, 表示变量具有强烈的空间相关性; 若大于 0.75, 则空间相关性很弱; 若比值介于 0.25~0.75 之间, 表明空间相关性中等; 如果比值接近于 1, 则无空间自相关性<sup>[22, 23]</sup>。由此判断, 土壤含盐量和 5 cm 含水量具有较强的空间相关性, 说明在研究区域内自然因素对两者空间格局的影响起主导作用。而土壤 pH 和有机质则表现出中等强度的空间自相关性, 表明两者在所研究尺度上的总变异既受到结构因素所引起的空间变异影响, 同时也受到一些随机因素如人为活动的影响。

从图 2 可以看出研究区域内土壤各特性的空间分布和格局。南大港水库内高盐区 (> 3‰) 有两个

表 3 东亚飞蝗卵块变异函数理论模型及有关参数

Table 3 Theoretical models of variation functions and corresponding parameters of the distribution of *Locusta migratoria manilensis* eggpods

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 Eggpods in 2002	球状模型 Spherical model	0.67	2.42	0.28	452	0.839
2003 卵块 Eggpods in 2003	球状模型 Spherical model	0.30	0.77	0.39	328	0.673

$C_0$ : 块金方差 Nugget variance;  $C_0 + C$ : 基台值 Sill;  $a$ : 变程 Range;  $R^2$ : 决定系数 Decisive coefficient

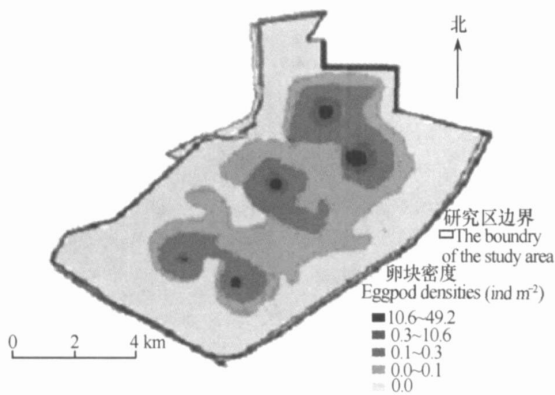


图 3 南大港水库蝗虫卵块空间分布格局

Fig. 3 Spatial distribution patterns of *Locusta migratoria manilensis* eggpods in Nandagang Reservoir, Hebei

图 3 表明研究区域内飞蝗卵块呈聚集分布, 并形成聚集程度极不均匀的斑块 (patch)。高密度蝗卵区 ( $10.6 \sim 49.2$  块  $m^{-2}$ ) 主要分布在研究区域的中部和东北部地块, 极少数分布在南部, 而在水库西部和北部几乎没有卵块的分布。其次, 各卵块斑块大小、形状及空间分布存在明显差异, 且卵块密度由低到高的分布梯度规律很显著。斑块中心到边缘卵块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。

斑块, 分别位于水库的北角和中部。区域尺度上土壤含水量的分布差异也较大, 西南部地块的含水量高达 50%, 北部最为干旱土壤含水量 < 10%。研究区域土壤贫瘠偏碱性, 不同有机质和 pH 含量的地块所占的比例相当。

### 2.3 飞蝗卵块的变异函数模型及空间分布格局

表 3 表明 2002 年和 2003 年卵块种群变异函数曲线均为球状模型, 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。表 3 表明东亚飞蝗卵块表现出中等强度的空间异质性, 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, 卵块数量的空间分布格局如图 3。

## 3 结论与讨论

### 3.1 土壤性质空间变异对飞蝗卵块分布格局的影响

实践证明, 地统计学能为探索飞蝗卵块空间格局形成提供强有力的分析工具, 而土壤理化特性的地统计学分析则有助于深刻揭示飞蝗卵块空间格局形成的机制。研究结果表明, 研究区域内飞蝗卵块的分布格局与土壤性质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。综合图 2 和图 3 可看出, 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% ~ 29.9%) 的中部和东北部地块, 而在土壤含水量过高 (> 30%) 的西部和盐份过重 (> 3‰) 的北部地块几乎没有卵块的分布, 而土壤有机质和 pH 则对飞蝗产卵选择的影响不大。

其次, 飞蝗卵块的斑块尺度大小在一定程度上可反映出东亚飞蝗产卵盛期土壤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 3 表明, 2002 和 2003 年飞蝗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。究其原因,

在 2003 年秋蝗产卵盛期, 整个华北地区普降大雨, 研究区域 3 天内降雨量达到 30 cm, 致使卵块主要集中在地势较高、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。

再者, 与 20 世纪 50 年代的研究结果相比, 由于研究区域环境发生了改变, 东亚飞蝗产卵时所要求土壤中的水、盐含量也发生了变化。本研究结果表明, 飞蝗产卵适宜的土壤含盐量和含水量已分别由过去的 0.2% ~ 1.2%、15% ~ 18% 变为 0.09% ~ 1.99% 和 10.1% ~ 20.0%, 当土壤含水量 > 30% 或含盐量 > 3% 时, 不再适合飞蝗产卵(20 世纪 50 年代的结果分别为 25%、2%)。即随着蝗区环境的恶化, 飞蝗产卵时对土壤中水、盐适应的上下限范围拓宽, 对环境的适应能力增强。

### 3.2 土壤特性和卵块空间分布图在实践应用中的意义

土壤理化性质的空间分布格局图直观地描绘了研究区域土壤理化特性的空间分布状况, 不仅可确定野外土壤合理取样的尺度和数目, 而且对蝗区进行改造具有重要指导作用。另一方面, 若能利用遥感技术准确反演蝗区土壤的水、盐含量, 就有可能事先预测区域范围内飞蝗适宜的产卵区从而实现灾前预警。

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)显示出区域尺度上蝗卵的空间分布信息如卵块形状及其大小、地理位置和相对位置, 这不仅是对卵块取样的基础, 亦为蝗虫发生的早期监测和有效开展点片防治提供了科学依据。

### 参考文献

- [ 1 ] 李亮亮, 依艳丽, 凌国鑫, 等. 地统计学在土壤空间变异研究中的应用. 土壤通报, 2005, 36(2): 265~ 268. Li L L, Yi Y L, Ling G X, et al. Utilization of geostatistics in soil spatial variability (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2005, 36(2): 265~ 268
- [ 2 ] 周慧珍, 龚子同. 土壤空间变异性研究. 土壤学报, 1996, 33(3): 232~ 241. Zhou H Z, Gong Z T. Study on soil spatial variability (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1996, 33(3): 232~ 241
- [ 3 ] 李毅, 王文焰, 王全九. 土壤空间变异性研究. 水土保持学报, 2002, 16(1): 68~ 71. Li Y, Wang W Y, Wang Q J. Study on spatial variability of soil properties (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 16(1): 68~ 71
- [ 4 ] Christien H E, David A W. Spatial soil ecology. Trends Ecol. Evol., 2002, 17(4): 177~ 183
- [ 5 ] Tsegaye T, Hill R L. Intensive tillage effects on spatial variability of soil physical properties. Soil Science, 1998, 163(2): 143~ 154
- [ 6 ] 李明辉, 何风华, 申卫军, 等. 基于土壤生物空间异质性分析的空间土壤生态学研究. 土壤, 2005, 37(4): 375~ 381. Li M H, He F H, Shen W J, et al. Study on spatial soil ecology based on spatial heterogeneity analysis of soil organisms (In Chinese). Soils, 2005, 37(4): 375~ 381
- [ 7 ] 陈国康, 曹志平. 土壤生物的生态学作用. 土壤, 2005, 36(2): 259~ 263. Chen G K, Cao Z P. Ecological researches on soil organisms (In Chinese). Soils, 2005, 36(2): 259~ 263
- [ 8 ] 梁文举, 闻大中. 土壤生物及其对土壤生态学发展的影响. 应用生态学报, 2001, 12(1): 137~ 140. Liang W J, Wen D Z. Soil biota and its role in soil ecology (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(1): 137~ 140
- [ 9 ] 郑祥, 鲍毅新, 孔军苗, 等. 金华北山阔叶林大型土壤动物群落的初步研究. 土壤, 2005, 37(5): 545~ 550. Zheng X, Bao Y X, Kong J M, et al. Soil macrofauna in broadleaf forest in mountain Bei of Jinhua (In Chinese). Soils, 2005, 37(5): 545~ 550
- [ 10 ] Crist T O. The distribution of termites in shortgrass steppe—A geostatistics approach. Oecologia, 1998, 114: 4 710~ 4 716
- [ 11 ] Eitana C H, Rathbun S L, Coleman D C. On spatiotemporal patchiness and the coexistence of five species of *Chronogaster* (Nematoda: Chronogasteridae) in a riparian wetland. Oecologia, 2000, 125: 444~ 452
- [ 12 ] 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. You D S, Ma S J. Relationship of *Locusta migratoria manilensis* oviposition and hatch to soil salinity (In Chinese). Acta Phytophylacica Sinica, 1964, 3(4): 333~ 344
- [ 13 ] 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. Ma S J, et al. Studies on Breeding Areas of the Oriental Migratory Locust in China (In Chinese). Beijing: Science Press, 1965. 1~ 335
- [ 14 ] 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. Zhu E L. Occurrence and Management of the Oriental Migratory Locust in China (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1999. 3~ 38
- [ 15 ] 李贻铎. 南大港农场水利志. 天津: 天津人民出版社, 1993. 41~ 48. Li Y D. Annals of Hydraulic Engineering in the Nandagang State Farm (In Chinese). Tianjin: Tianjin People Press, 1993. 41~ 48
- [ 16 ] 季荣, 谢宝瑜, 李哲, 等. 河北省南大港农场 2002 年夏蝗发生特点及原因浅析. 昆虫知识, 2002, 39(6): 430~ 433. Ji R, Xie B Y, Li Z, et al. Reasons and characteristics of outbreak of the Oriental migratory locust *Locusta migratoria manilensis* plague in Nandagang, Hebei Province (In Chinese). Entomological Knowledge, 2002, 39(6): 430~ 433
- [ 17 ] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Analysis on the Soil Physical and Chemical Properties (In Chinese). Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978
- [ 18 ] 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. 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 Zunghua City of Hebei Province (In Chinese). Chinese Journal of Applied

- Ecology, 2000, 11 (4): 557~ 563
- [19] 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. 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 (In Chinese). Acta Entomologica Sinica, 2004, 47(1): 33~ 40
- [20] 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. Zong S X, Luo Y Q, Xu Z C, et al. Geostatistical analysis on spatial distribution of *Holcocerus hippphaecolus* eggs and larvae (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(4): 831~ 836
- [21] 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. Lu W D, Zhu Y L, Sha J. SPSS for Windows from Introduction to Familiarity (In Chinese). Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1997
- [22] Trangmar B B, Yost R S, Uehara G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. Advanced Agronomy, 1985, 38: 44~ 94.
- [23] 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. Wang Z Q. ed. Geostatistics and Its Application in Ecology (In Chinese). Beijing: Science Press, 1999

## IMPACT OF SOIL SPATIAL VARIABILITY ON SPATIAL DISTRIBUTION PATTERNS OF *LOCUSTA MIGRATORIA MANILENSIS* EGGPODS

Ji Rong<sup>1,2†</sup> Xie Baoyu<sup>2</sup> Li Dianmo<sup>2</sup> Li Zhe<sup>2</sup>

(1 College of Life Sciences and Chemistry, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China)

(2 State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

**Abstract** Impact of soil spatial variability on spatial distribution pattern of *Locusta migratoria manilensis* eggpods in Nandagang reservoir, Hebei, were studied by means of geostatistical analysis and GIS techniques. Results show that soil properties, such as salt content, water content at 5 cm depth, organic matter and pH, displayed significant spatial heterogeneity, but the first two demonstrated close spatial correlation and the last two moderate spatial correlation, and the distribution of locust eggpods, significant spatial autocorrelation. Locust eggpods were mainly distributed in the central and eastern parts of the study zone, where the soil was low in salinity (< 1.9%) and moderate in water content (10.1% ~ 29.9%), but they were rarely found in the western and northern parts, where the soil was high in water content (> 30%) and in salinity (> 3%). The findings indicate that the spatial distribution pattern of locust eggpods is mainly related to spatial variability of the soil in the study area.

**Key words** Soil spatial variability; Eggpod spatial patterns; Geographical information system; Geostatistics; *Locusta migratoria manilensis* (Meyen)