

# 基于 GIS 的种群动态的时空分析与模拟研究的方法进展

王正军<sup>1,2</sup>, 张爱兵<sup>1</sup>, 程家安<sup>2</sup>, 李典谟<sup>1\*</sup>

(1. 中国科学院动物研究所, 北京 100080; 2. 浙江大学应用昆虫学研究所, 杭州 310029)

**摘要:**结合实例从时空分析、时空模拟和基于 Web 的 GIS 研究三方面介绍了种群动态的时空分析与模拟研究的最新进展和应用方法, 并对未来该领域的研究重点和应用前景作了展望。

**关键词:**GIS; 种群动态; 时空分析; 模拟; 方法

## The Development of Spatio-temporal Analysis and Simulation of Population Dynamics Based on GIS

WANG Zheng-Jun<sup>1,2</sup>, ZHANG Ai-Bing<sup>1</sup>, CHENG Jia-An<sup>2</sup>, LI Dian-Mo<sup>1</sup> (1. *Institute of Zoology, Chinese Academy of Science, Beijing, 100080, China*; 2. *Institute of Applied Entomology, Zhejiang University, Hangzhou, 310029, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 22(1): 104~110

**Abstract:** Population dynamics is the important field of ecology, but analytic approaches did not really begin until the 1920s and 1930s. The early studies, which are usually in spatially homogeneous conditions, have been useful as tools in the management of fisheries, and other resources.

Historically, studies of population dynamics have concentrated on changes through time; patterns across spatial dimensions remain largely unexplored. The complexity and difficulty of handling multidimensional data has perennially hindered researchers in their quest to understand spatial phenomena.

Recent development of two technologies has opened up new avenues for analyzing spatial patterns in insect populations: (1) geographic information systems (GIS), and (2) Geostatistics. Geostatistics emphasize particularly on spatial structure analysis and modeling, interpolation of regional variable, while GIS is used to spatial display and query, factors analysis, visualization of spatial modeling, etc.. There is a trend of integration of the two methods in the future. Neither are spatio-temporal analysis and modeling different from time series, nor single spatial series analysis. It is the kind of composite analysis that has ordinary statistical method and has also particular spatio-temporal analysis methods. They are not unrelated; on the contrary, they are interinfiltration and complementary. As a case study of management of *Chilo suppressalis* (Walker) in Zhejiang Province, we introduced principally three aspects study approaches and their applications in the article, these methods are spatio-temporal analysis, spatio-temporal modeling and Web GIS study, which ArcView GIS 3.1 is used to act as the primary analytical tool.

In the spatio-temporal analysis of population dynamics, some elementary approaches are as follows: (1) Query and display of spatial and its attribute information. (2) Extraction of spatial and its attribute information. (3) Thematic maps and its dynamic analysis. (4) Analysis and evaluation to susceptible habitat of insect pest. (5) Spatial information statistics.

Spatio-temporal modeling includes simulation of spatial distribution and its temporal reasoning. Simulation of spatial distribution pattern can be done by interpolation; temporal reasoning can be simulated by

**基金项目:**国家自然科学基金重大项目(39893360), 国家“973”项目(G2000016210), 中国科学院创新方向项目(KSCX2-1-02 和 KSCX2-SW-103)资助

\* 通讯作者, E-mail: Lidm@panda.ioz.ac.cn

收稿日期: 2000-12-27; 修订日期: 2001-08-10

作者简介: 王正军(1968-), 男, 陕西富平人, 博士。主要从事种群生态学研究。

linking with GIS.

We often fall across the problem of data insufficiency in spatial analysis, it is the great difficulty, especially in large-scale, but interpolation can deal with this problem withal. Spatial interpolation is one of the important functions and also the base of estimation, distribution modeling, which makes up the shortage of data.

The integration of GIS and simulation model is the new field and trend in the study of population dynamics. GIS can exert functions in three aspects in this field: (1) Analysis of spatial dynamics and modeling by function of GIS software. (2) Building of statistical GIS model by thematic maps from environmental, meteorological, cultivation system, pest variables. (3) Building of Coupled GIS/Simulation modeling.

At present, the integration of GIS and simulation model is applied mostly to the spatio-temporal modeling and forecasting in regional population dynamics. GIS will play particular roles in regional forecasting: (1) Consideration by variational probability. Prediction to entire region by probability integrating key factors. (2) Building forecasting modeling based on grid and extend temporal series to space. Therefore, the study results of time series can be applied completely to regional forecasting according to needs. (3) Forecasting to each point and then interpolation among these points. These approaches can be linked with GIS by control programme.

Web GIS is another important tool in population dynamics study. It is the kind of new Internet technology with GIS function. Its primary characteristic is query and analysis of spatial information by web. Owing to popularization of Internet and its structure based on client / server, Web GIS can be used at the same time by multi-user who need not purchase costly software.

In China, it needs to do more work for building Web GIS in pest management, comparing to other fields such as soil management. Now computer, local area network and Internet are not setup and database management system has not been built yet in each forecasting stations, information is transferred by files, telegraph, telephone and faxes, this has not been able to adapt to the practice of pest management and need of information era. In Integrated Pest Management, it is essential to build local area network and develop Web GIS in order to monitor pest dynamics and share real-time information in different scales. This system, which can promote transferring speed of information, increase greatly information capability and remarkably improve efficiency, will change ultimately traditionary forecasting system.

Populations always exist in spatio-temporal variant environment, so we should take into account synchronously time and space. The integration of spatial dynamics with temporal dynamics of population is the trend of population ecology. With development of spatial analysis technology based on GIS, the current studies on spatio-temporal dynamics are as follows: (1) Building of GIS database. (2) Simulation technology of visualization by GIS. (3) Development of real-time monitoring and forecasting system based on Internet.

**Key words:** GIS; population dynamics; spatio-temporal analysis; simulation; method

文章编号:1000-0933(2002)01-0104-07 中图分类号:Q145,Q968 文献标识码:A

时间序列分析(Time series analysis)是对一定区域的种群时间动态的分析,其目的是了解种群随时间变化的规律性,并在此基础上对其未来的发展趋势作出分析、评估和预测,应用一般的统计学方法即可进行;空间分析亦称空间统计分析(Spatial statistical analysis)包括空间结构分析、空间分布和动态模拟、点数据的插值(Punctual interpolation)、图层叠置(Overlay)等过程。空间结构分析是基于样点间的方向和距离去确定它们间的相关程度并模拟其空间分布的一种分析方法;空间分布和动态模拟包括静态的空间分布模拟和动态的时间推演两个方面,静态的空间分布模拟可直接通过插值方法予以实现,动态的时间推演要根据情况可通过插值或时空模型模拟两种方法来实现。插值是在空间相关分析的基础上对点数据的空间扩展,通过插值可以了解未知点的变量数值,对整个区域的插值则可了解整体的分布和发生动态;空间叠置是为了将害虫的空间动态信息同相应的环境特征信息联系起来,以查明害虫爆发的风险区域并了解诱使害虫爆发的环境数据。时空分析(Spatio-temporal analysis)是基于空间方向的定量评估区域化变量的变异程度以及这种变异随时间的变化。时空分析需要实施两个步骤:(1)确定区域化变量在时间尺度的变异,

接着确定其在空间尺度的变异;(2)时间和空间尺度的结合,这是将空间结构变异延伸至时间轴上的过程<sup>[1]</sup>,可以应用时空半方差图(Spatio-temporal semivariogram)对时空结构和动态进行分析和描述<sup>[2]</sup>,此外,还可以将时间和空间相结合的方法进行时空动态的分析和模拟。

目前,地统计学(Geostatistics)和地理信息系统(Geographic information system,简称GIS)已经被有效地应用于昆虫种群的时空动态研究。地统计学侧重于区域化变量的空间结构分析和模拟、空间插值,地理信息系统则侧重于空间显示和查询、影响种群动态的因子分析、可视化种群时空动态模拟等,两者已有结合发展的趋势。时空分析与模拟既不同于纯粹的时间序列、亦不同于纯粹地空间序列,它是时空有机结合为一体的分析方法。在此,既有传统的统计学方法,又有时空分析的独特方法,这两种方法也不是完全的隔开互不相关,而是相互渗透和补充,比如,在做空间分析时首先需要对数据做基本统计分析,根据统计分析的结果选择适当的空间分析方法,而在进行田间抽样时,有时又必须通过空间相关分析的方法对未抽样点的变量进行估值。本文结合害虫综合治理的实践,以 ArcView GIS 3.1 作为基本的空间分析工具,以浙江省作为研究的背景区域,就时空分析与模拟研究中 3 个重要方面:即时空分析、时空模拟和基于 Web 的 GIS 研究作以简介,以期起到抛砖引玉、推动我国昆虫生态学的 GIS 事业纵深发展的作用。

## 1 时空分析

时空分析的方法因具体的研究对象和目的不同而不同,但在以 GIS 为依托的时空分析研究中,时空分析往往都是基于空间的,是探索空间及其时间推演(Temporal reasoning)规律的研究,这与传统的种群生态学侧重研究动态规律有所不同,动态的种群规律研究是基于时间的,是对某一地的种群随时间波动的规律研究,因此,在研究种群的时空动态规律时,需要在研究静态规律或静态格局间关系的基础上考虑其时间推演。下面就时空分析中一些最常用、最基本的操作和功能作以简介。

### 1.1 空间与属性信息的查询与显示

在空间分析中,常常需要在大量属性数据和空间数据中查询、统计出自己所感兴趣的区域或属性信息,这就需要运用地理信息系统的空间与属性信息查询功能。信息查询可分别就空间、属性或空间与属性结合 3 个方面通过直接或逻辑查询两种方式进行。针对某地查询属性或查询某地所在的地理位置属于直接查询,根据逻辑关系进行查询属于逻辑查询,两种查询的结果均可通过地图或属性表的形式显示出来。能够进行空间查询与显示是地理信息系统的最大特点和优势之一。

### 1.2 空间与属性信息的提取

信息提取是为了保存查询的结果并用于指导以后的工作,在浩瀚的信息中提取所需要的信息是 GIS 研究中一项非常重要的功能,尤其对于遥感信息,其提取信息的手段和方法对于研究结果的精确性和可信度都有很大影响。比如,要寻找浙江省面积大于 2219km<sup>2</sup> 的县市所在的位置,则可运用 Arcview GIS 3.1 中的菜单 Query 查询并通过转换为 shp 文件而单独保存为一个图层,其提取的结果如图 1-a 所示;同样,对于栅格数据比如插值地图,可运用分析模块中的 Map query 直接查询并保存为一个图层,图 1-b 为查询 1986 年插值后的图层中早稻主害代卵块密度 > 136 块/667m<sup>2</sup> 的区域的结果。根据要求将空间信息提取并保存后,与这些空间特征相连接的属性信息也自然得以提取和保存。

### 1.3 生成专题地图并进行动态分析

专题地图(Thematic map)显示是空间分析中最常用的方法之一。由于许多研究需要对空间不同地区的某一变量进行比较,以确定它们在各个地区分布上的差异,并进而作为决策的依据,因此,生成专题地图是最直观、最方便的方法。在昆虫学研究中,种群在不同地区的数量变化、发生期差异均可通过专题地图予以显示。图 2 为一栅格格式的专题图,通过该图可以分析 1981 年浙江省各地早稻一代二化螟卵块密度的大小,如果将各年的或同一年的分布图进行比较,则可以分析其空间分布格局的时间动态。

### 1.4 昆虫适宜性生境的分析与评估

昆虫的爆发可以通过做专题图在空间上清楚地显示出来,不同地区的种群之所以出现数量、发生期上的差异,在空间数据首先是由于空间异质性,或者说是由于地理位置的差异,这是因为位置不仅仅表示具体的经纬度值,它还代表着不同地理区域的气候、耕作制度、人为影响等综合的效果。在具体分析时,

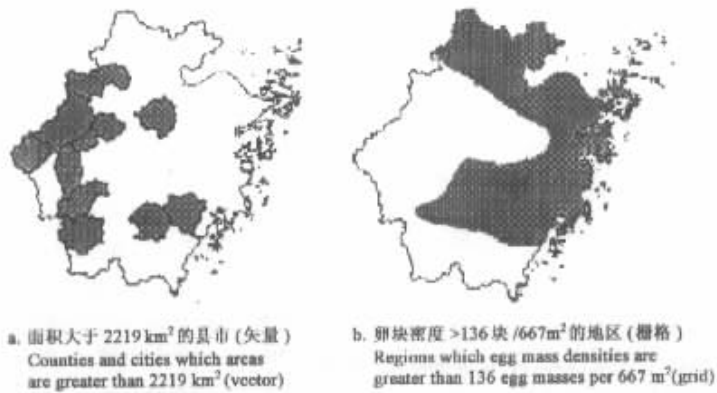


图 1 空间信息的提取  
Fig.1 Extraction to spatial information

首先通过叠加显示初步推断可能的因子,而后通过叠置操作对有关的因子做深入的分析。比如,用卵块发生的等级区划图与河流、道路、高程、土地利用、耕作制度、冬后残留量等因子分别叠加显示(栅格数据需做处理后才可叠加显示),初步推断冬后残留量是影响二化螟种群数量的最主要因子,接着,通过栅格叠置操作(combine)对同一格子(像元)中的数据进行定量分析。下图是卵块发生区划图与浙江省高程图叠加显示的一个例子,从图 3 可以观察二化螟的卵块分布与高程的关系。

1.5 空间信息统计

进行空间分析,不仅需要知道有关的空间位置信息,更多的是需要了解、统计与这些位置信息相联系的属性。比如不但要知道二化螟卵孵高峰发生在以 1 月 1 日为起点的第 155~160 天这个等级的具体区域,而且要知道这些地区所占的面积及造成这种发生等级的原因。在此,可以利用 Arcview GIS 3.1 所提供的功能模块 Histogram 统计出 1983 年早稻二化螟卵孵高峰期各等级所占的面积(图 4)。

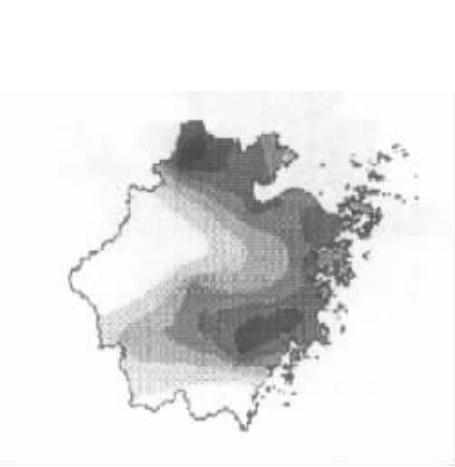


图 2 1981 年浙江省各地早稻一代  
二化螟卵块的空间分布

Fig.2 The spatial distribution of egg masses of the 1st generation of *Chilo suppressalis* (Walker) in Zhejiang Province in 1981

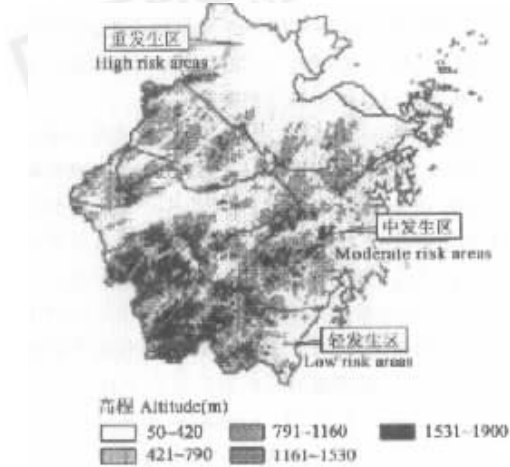


图 3 叠加显示查询害虫发生的适宜生境  
Fig.3 Quarry and display of susceptible habitat to insect pest by overlay

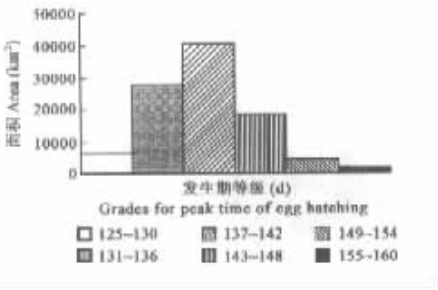


图 4 1983 年卵孵高峰期各等级所占地面积直方图  
Fig. 4 Histogram of grade areas for peak time of egg hatching in 1983

途径。目前插值一般都是针对点数据而言,进行插值时首先确保抽样点位置、插值变量的数值可靠,在做空间相关分析后才可进行。图 5 为 1983 年早稻二化螟主害代卵孵高峰期的插值地图。

2.2 GIS 与时空模型的结合

GIS 与模型结合是 GIS 研究的一个新领域和发展趋势,这已经是各种相关会议的主题<sup>[3~5]</sup>,Hunsaker 等<sup>[6]</sup>对此有较详细的评论。在 GIS 与模型结合时,如何实现二者的动态连接和自动化、智能化服务是一个难点。

在同模型相联系方面,GIS 大致有 3 方面的作用<sup>[7]</sup>。一是利用 GIS 软件内部提供的函数或模型进行空间动态分析或模拟,如通过空间叠置证实害虫的适宜生境、通过点数据的插值为无数据地区估值等;二是通过由 GIS 所派生的环境、气候、耕作制度等变量(自变量)同虫情变量如发生程度(因变量)等建立统计性 GIS 模型。如 Gage 等用舞毒蛾的历史资料在 GIS 系统上建立了线性回归模型,进行地区性种群发生趋势预测就是采用了这种方法<sup>[8]</sup>;三是将 GIS 同时空模型相耦合,称为耦合的 GIS 模拟模型(Coupled GIS/Simulation modeling)<sup>[9]</sup>。在此,GIS 产生模型所需的输入变量,运行模型以产生相应结果,其结果也可再次输入 GIS 中进行显示和分析,如此反复(图 6)。该过程可用于模拟害虫对环境条件的变化所产生的反应(如迁移、扩散、数量增减等)。GIS 和模型的操作既可独立进行,亦可通过软件连接完全耦合。

GIS 与模型结合目前主要应用于区域性害虫发生动态的时空模拟或预测中,GIS 在区域性预测中将发挥其独特的作用,但区域性预测尤其是大尺度的预测在生态学研究始终是一个难题,其原因是预测变量的影响因子复杂,不仅涉及时间变化,而且涉及空间变化,就某一地的时间序列研究主要考虑在影响因子作用下的时间相关,但在区域性预测中,不仅要考虑各地的具体情况,还要考虑地区间的空间变异大小。对此,学者们从不同的角度进行了尝试,一是从区域性变量的概率变化考虑,而不是从值本身,依据概率变化并结合影响的关键因子对整个研究区进行预测<sup>[10]</sup>;二是通过结合 GIS 建立基于栅格的预测模型,将时间序列研究延伸至空间,时间序列的研究成果完全可以在区域性预测研究中发挥作用;三是采用各点预测、空

2 时空模拟

时空模拟包括静态的空间分布模拟和空间格局的时间推演两方面,空间分布模拟可通过插值实现,空间格局的时间推演亦即时空模拟可通过组建基于 GIS 的模拟模型予以实现。

2.1 点数据的插值

在空间分析中,最常遇到的问题是数据的不足,需要了解的许多地区缺乏数据,这给大尺度的空间分析造成很大困难。对此,运用地理信息系统的插值功能可以较好地解决这一问题。空间插值是时空分析中最为重要的功能,它是空间估值、空间分布模拟的基础,通过插值,不仅可以弥补数据不足所带来的分析上的困难,而且,插值也是害虫异地预报、风险区分析的重要

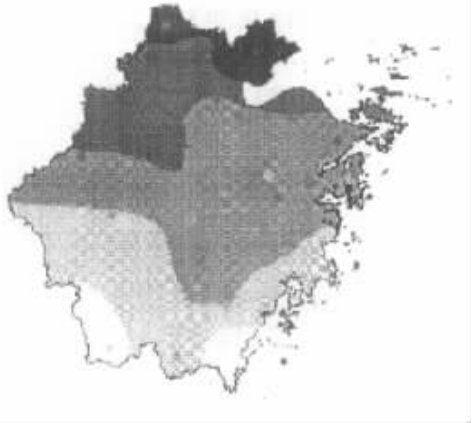


图 5 浙江省 1983 年早稻二化螟主害代卵孵高峰期的点数据插值地图

Fig. 5 The interpolation map of punctual data of the 1st generation of *Chilo suppressalis* (Walker) in the 1st cropping season in Zhejiang Province in 1983



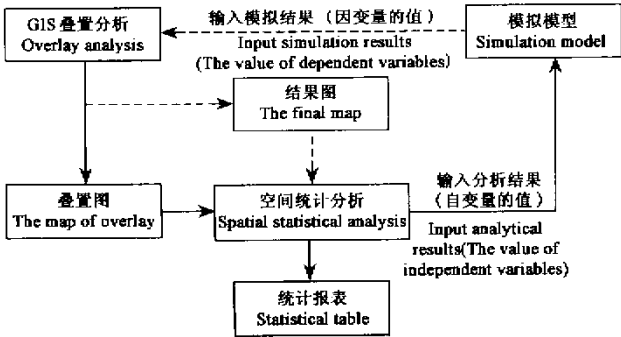


图 6 GIS 与模型的耦合

Fig. 6 The Coupled GIS/Simulation modeling

间插值的方法进行预测,作者在浙江省二化螟种群动态预测中证明这种方法效果较好,将来完全可以应用于大尺度的害虫综合管理项目中,但前提是抽样点事先需要检验并确认能够反映整体变化,同时各地的预测模型精度要高。事实上,现在各个测报站都有本地使用多年的较好的预测模型,完全可以将这些模型通过 GIS 和地统计学的方法应用于区域性预测中。以上 3 种区域性预测的方法均可通过一定的控制程序建立耦合的 GIS 模拟模型。

3 基于 Web 的 GIS 研究

Internet 发展了一系列数据访问的途径,其中 WWW(万维网)目前使用最多,新出现的 Internet GIS 软件或技术也多基于 WWW,因此,Internet GIS 也常称为 Web GIS,即万维网地理信息系统。Web GIS 与一般 GIS 的最大区别是它可以通过网络进行空间信息的查询和分析,由于网络的迅速普及和基于客户/浏览器的结构,使得 Web GIS 具有信息发布及时、迅速、使用方便、多用户多终端可同时工作、不用购置昂贵软件等诸多优点,特别适合于区域性的害虫综合管理实践。

就国内的情况看,同其它行业特别是土地管理方面比较,害虫综合治理领域的信息系统、特别是基于 Web 的区域性地理信息系统的建立,还需要做大量的工作。现在各地测报站还未实现电脑化管理,害虫测报数据库基本上还未建立;测报系统还没有自己的区域网,信息的交流和沟通仍然沿袭文件传送、电报、电话、传真的形式,这已经很不适应害虫测报的实际,也不符合信息时代的要求。在害虫综合管理领域,要实现不同空间尺度特别是大尺度的害虫动态监测、实时信息传播与共享,很有必要组建害虫测报体系的区域网、发展基于 Web 的地理信息系统。

综观国内有关害虫管理的信息系统,基本上可分为两大类,一类是没有结合 GIS 成分的如:(1)专门用于数据库管理的如绿十字博士软件<sup>[11]</sup>;(2)生态学分析或建模的如生态基本分析软件 ECOPEST<sup>[12]</sup>,(3)信息查询或咨询的如植物检疫专家系统 PQ-PickBugs<sup>[13]</sup>等。一类是结合有 GIS 成分的,如黄淮海地区麦蚜预测预报(地理信息)系统<sup>[14]</sup>等。在这些研究中,多数系统没有结合 GIS 成分,即使结合有 GIS 成分,其基本功能还是停留在单一的信息查询或显示阶段,GIS 的空间分析功能仍十分有限。此外,结合客户/服务器结构开发的有关害虫管理的 Web 地理信息系统还未有报道。因此,组建 Web GIS 不仅实用,而且大有可为。组建这种系统,将使传统的测报体制和方法发生根本性的转变,不仅使信息传递的速度大大加快,而且使获得信息的容量成倍增加,工作方式和效率都大为改观。

组建害虫综合管理信息系统,最重要的是讲究实用性。在测报系统建立这样的系统至少要有 4 方面的功能:一是网络功能,二是具有可视化的地图界面(GIS 功能);三是具有专家咨询和决策功能;四是能够对害虫的发生进行数据监测和预测。同时还要简单实用、具有专业特色<sup>[7]</sup>。

4 未来研究展望

种群总是处于不断变化的时空环境之中,因此研究种群动态也必须同时考虑时间和空间这两个方面,对种群动态进行时空一体化研究将是种群生态学发展的必然趋势。随着以 GIS 为核心的空间分析技术的发展,种群时空动态的研究重点将表现在多个方面。

#### 4.1 建设 GIS 数据库

GIS 数据库是时空分析的基础,也是这方面研究的瓶颈,因此加强基础数据库建设将是未来 GIS 研究的迫切任务。随着研究的进一步分化,将来会有专门机构从事数据库(尤其是空间库)建设,可为不同领域的用户提供不同性质、不同尺度和精度的数据服务。

#### 4.2 加强基于 GIS 的可视化模拟技术研究

可视化的空间分析与模拟是 GIS 技术的核心,随着 GIS 技术的发展,其空间分析的应用领域将不断扩大,未来 GIS 技术的成功与否在某种程度上取决于它拥有多大的空间分析和模拟功能<sup>[15]</sup>。

#### 4.3 发展基于网络的害虫管理实时监测与预警体系

GIS 的空间分析功能不仅体现在对历史数据的分析和评估,更重要的是它能够通过结合网络、遥感和全球定位系统对种群动态进行实时监测,通过结合时空模型和专家系统对未来趋势进行预测预警。但目前各地乃至全国的害虫动态预警网络体系还未建立,其基础理论和应用方法研究亦显薄弱。

随着 GIS 技术的飞速发展和昆虫生态学中空间研究的深入,GIS 的优势已经逐步体现出来并将发挥越来越大的作用,现在的问题已经不是讨论是否要应用以及有那些优势的问题,而是如何充分发挥 GIS 的潜在优势更好地为包括昆虫生态学在内的相关学科服务。

#### 参考文献

- [1] Schotzko D J and Quisenberry S S. Spatio-Temporal dynamics of tritrophic interactions; using the Russian Wheat Aphid (Homoptera: Aphididae) on a preferred and nonpreferred host, with the introduction of a predator as the model. In: *Russian wheat aphid*. Thomas say publications. 1996. 337~365.
- [2] Bilonick R A. Moththly hydrogen ion deposition maps for the northeastern U. S. from July 1982 to September 1984. *Atoms. Environ.*, 1988, **22**:1909~1924.
- [3] Goodchild M F. Data models and data quality: problems and prospect. In: Goodchild M F, Parks B O and Steyaert L T. eds. *Environmental Modeling with GIS*. New York: Oxford University press, 1993. 94~103.
- [4] Goodchild M F, Steyaert L T, Parks B O, et al. eds. *GIS and Environmental Modeling: progress and research issues*. GIS World Books, Fort Collins, CO. 1996.
- [5] NCGIA. *Proceedings, Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling. Santa Fe, NM*. National Center for Geographic Information and Analysis, Santa Barbara, CA. , 1996.
- [6] Hunsaker C T, Nisbet R A, Lam D C L, et al. Spatial models of ecological systems and processs: the role of GIS. In: Goodchild M F, Park B O And Steyaert L T. eds. *Environmental Modeling with GIS*. New York: Oxford University press, 1993.
- [7] Wang Z J (王正军), Cheng J A (程家安), Zhu Z R (祝增荣). Geographic information system and its application in integrated pest management (IPM). *Acta Agricultural Zhejiangensis* (in Chinese) (浙江农业学报), 2000, **12**(4): 233~238.
- [8] Gage S H, Wirth T M and Simmons G A. Predicting regional gypsy moth (Lymantriidae) population trends in an expanding population using pheromone trap catch and spatial analysis. *Environmental Entomology*, 1990, **19**(2): 370~377.
- [9] Carol A J. *Geographic Information Systems in Ecology*. Blackwell Science Ltd, Oxford. 1998. 185~186.
- [10] Gribko L S, Liebhold A M and Hohn M E. Model to predict gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) defoliation using Kringing and logistic regressing. *Environ. Entomol.*, 1995, **24**(3): 529~537.
- [11] Hu B H (胡伯海). The Prediction and Forecast System of Vital Crop Diseases and pests in the whole country. *Computer and agriculture* (in Chinese) (计算机与农业), 1996, **3**: 27~31.
- [12] Wang Z L (王之岭), Shen Z R (沈佐锐). ECOPEST—software for basic ecological analysis in Integrated Pest Management (IPM). In: *The Prospects of Plant Protection in 21st Century* (in Chinese). Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1998. 589~591.
- [13] Shen Z R (沈佐锐), Li Z H (李志红), et al. Software Engineer as the Guideline to Plant Protection Software Development. *The Prospects of Plant Protection in 21st Century* (in Chinese). Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1998. 14~20.
- [14] Gao L W (高灵旺), Shen Z R (沈佐锐), et al. Development of HH-APHIDGIS and Its Preliminary Application in HuangHuaiHai region. *The Prospects of Plant Protection in 21st Century* (in Chinese). Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1998. 461~466.
- [15] Scholten H. Specialist meeting report, GIS and spatial analysis. In: *GISDATA Newsletter*, 1994, **3**: 6~8.