

GIS 在土壤空间分析中的应用

高俊峰

曹 慧

(中国科学院南京地理与湖泊研究所 南京 210008)

(中国科学院南京土壤研究所)

摘 要 本文对 GIS 在土壤空间分析中的应用流程作了探讨,包括土壤空间分析中所需数据的采集、空间分析与统计方法、查询与专题制图的制作等。以江苏省吴县市横泾镇为例,以最大收益为原则,采用 GIS 方法并结合有关模型计算出横泾镇最优的农业结构用地和可能的最大收益。本文给出的一种基于土壤空间分析和土地适应性评价方法,亦可为农业用地结构优化调整提供一些研究思路。

关键词 地理信息系统;土壤;空间分析

地理信息系统(GIS)是以地理空间数据库为基础,具有采集、分析、管理和输出多种空间信息的能力。利用GIS的空间信息分析技术,通过对原始数据模型的观测和试验,可以获得新的经验和知识。GIS用于农田土地数据管理,查询土壤、水文、气象气候、作物苗情和产量等数据,并能够方便地绘制各种专题地图,也能采集、编辑、统计分析不同类型的空间数据。土壤数据具有空间性和动态性,利用GIS的区域空间分析、多要素综合分析和动态预测的能力,可产生多层次、高质量的土壤空间信息^[1]。

从国际及国内研究趋势看,模式化、数字化、“3S”技术、智能化和网络化研究是21世纪土壤学发展的驱动力。土壤侵蚀信息系统、海南岛土壤与土地数字化数据库、红壤资源信息系统等是GIS在土壤领域比较成功的应用系统,今后在这方面的研究还将不断发展。土壤网络化、土壤智能化、土壤数字化是今后土壤信息化的发展趋势^[2]。GIS技术必将在其中起到核心作用,土壤的空间分析及模型库建立是数字土壤建设的基础,对于土壤空间分异等方面的研究具有重要意义。

本文对GIS在土壤空间分析中的应用流程作了探讨,包括GIS所需空间数据的采集,土壤养分、土地利用、地形坡度、坡向、作物产量等要素的空间分析方法,以及土壤空间信息查询与专题制图等。以江苏省吴县市横泾镇为例,以效应最大化为原则,就吴县市周边适宜种植的作物和养殖类型,计算出横泾镇最大收益下的农业用地结构和收益状况。当前正处于农业用地结构快速变化的时期,本文给出的一种基于土壤空间分析和土地适应性评价方法,可为农业用地结构优化调整提供一些研究思路。

1 土壤空间数据的采集

快速、有效采集空间变量信息,是实现空间分析的重要基础。在GIS和相关技术的支持下,可以快速取得有关土壤及其影响因素等一系列基础空间信息,如地形、土地利用、植被、土壤肥力等等,这些信息是进行土壤空间分析与评价的前提。

在土壤空间分析中,优先考虑的主要是土壤含水量、有机质、土壤压实、耕作层深度、总N、总P、pH值、速效P、速效N、速效K、土壤重金属含量等土壤属性,也要考虑到

作物病虫害及作物苗情等信息。目前,土壤信息采集的自动化已经有了长足的发展,如基于传统化学分析技术基础上的快速土壤主要肥力测量仪器,可以对农田主要肥力因素进行快速测定,通过联机可进行数据的自动输入;一种基于近红外技术,能通过间接叶面反射光谱特性进行农田氮肥肥力水平快速评估,它与遥感技术相互借鉴,可做到土壤养分的快速测定;基于离子选择场效应晶体管(ISFET)集成元件的土壤主要矿物元素含量测量技术的研究在国外已取得进展,不久可望应用于实际观测;土壤耕作层深度对评价土壤持水能力和指导定位处方耕作,确定播种深度、施肥用量密切相关,现已开发出非接触式、基于电磁场理论的土壤电导率测量仪;通过 NIR 原理研制的可用于田间在线测量的多光谱 SOM 测量仪已有商品化产品。如多光谱识别、NIR 视角技术、图象模式识别、人工智能方法、状态空间分析、小波分析、卡尔曼滤波方法等,这些技术在土壤与田间作物变量传感与空间信息处理技术方面得到广泛应用。目前这些采集方法的缺点是与 GIS、GPS 的结合还不够紧密,数据自动传输到空间数据库的效果不甚理想。开发基于新的物理原理的近似快速信息采集技术与改善空间地理信息处理方法,仍然是土壤科技工作者面临的艰巨任务。

地形条件对土壤侵蚀的影响是多方面的,从坡度、坡向、坡长、坡形,到相对高差,再到地形起伏等,不同的地貌要素综合影响着土壤侵蚀,并且在很大程度上影响着人类活动。对于地貌要素的获取,可以通过扫描数字化大比例尺地形图得到高精度数字地形模型(DEM)。

通过遥感(RS)技术可获得的时间序列图象,可显示出由于农田土壤和作物特性的空间反射光谱变异性,提供农田作物生长的时空变异性的信息。在同一季节中不同时间采集的图象,可用于确定作物长势和条件的变化。目前一系列的地球观测卫星将在近几年内发射,到2005年,将有超过40个这类卫星提供服务。大部分这类卫星采集的全色图象,空间分辨率将达1~3m,多光谱图象的分辨率预计可达3~15m,扫视区6~30km。由于卫星遥感图像的低成本,可望在基础信息采集中扮演重要角色。

2 土壤空间数据的分析

地理数据的分析功能,即空间分析,是GIS得以广泛应用的重要原因之一。通过GIS提供的空间分析功能,用户可以从已知的地理数据中得出隐含的重要结论,这对于土壤研究是十分重要的。

地理信息系统与传统地图相比,最大优点是通过GIS提供的叠加分析功能将土壤不同的专题数据组合在一起,形成新的数据集,能够很快地将各种专题要素组合在一起,产生出新的综合信息,并可分析出土壤各种因子的相互作用与相互影响,从中可以发现它们之间的关系,如土壤养分与作物产量的关系;将土壤类型、地形、作物覆盖数据进行叠加,建立三者空间上的联系,可以分析出土壤类型、地形、作物覆盖之间的关系;将地形坡度、坡向、土壤养分、土壤类型、土地利用类型等进行叠加分析,结合土壤质量评价模型,可以得出土壤质量图。

现有的土壤信息采集方法基本上是基于实地的土壤采样分析,这种采样方法耗资费力,往往不能取得足够的点来满足连续表面的分析要求。需要进行数值内插以生成更多的点,形成空间上连续的土壤要素分布图。GIS的空间插值方法有反距离插值、双线插值、趋势面插值、样条插值、克里格插值等。不同的插值方法对数据的要求和插值精度有所不同^[4]。

在土壤要素空间插值中最常用的方法是克里格插值法,它考虑到已知样点的分布、密度、大小及其与待估样点相互间的空间分布位置等几何特征和空间结构,为达到线性、无偏、最小方差,对每一已知样点赋与一定的系数,最后进行加权平均来确定未知点的值。在分析土壤总 P、总 N、速效 P、速效 N、有机质等要素的空间分布时,都采用了克里格插值方法,形成空间分布图。

叠加分析是又一种土壤空间分析中常用方法。它是将两层或多层土壤要素进行叠加,产生一个新的要素图层,其结果是将原来的要素分割成新要素,新要素综合了原来两层或多层要素所具有的属性,不仅生产新的空间关系,相关的属性关系也可以由数学模型来建立。如土壤分级中,根据采样点的土壤有机质、全 N、速效 P、速效 K 等由克里格空间插值产生相应的空间分布图,再将所有图层叠加,由土壤养分分级指标进行综合评级,生成土壤养分空间分布图。再如将土壤环境条件、土体构型、障碍层次、土壤养分(有机质、全 N、速效 P、速效 K)、土壤物理性质(容量、总空隙度、非毛管空隙度、耕层质地)、耕层厚度、酸碱度、生产性能等图层叠加,对每一个项目给出定量或定性的评价指标,形成土壤评级图。

通用 GIS 软件提供空间分析功能对于土壤的应用问题是远远不够的,因为土壤领域都有自己独特的专用模型。目前通用的 GIS 大多转向组件化模式,为二次开发提供了工具和环境,部分支持面向用户的空间分析模型的定义、生成和检验的环境,为解决土壤空间分析中的特殊问题提供了可能。

3 土壤空间信息查询与专题制图

土壤空间信息查询有空间定位查询,如对某种土壤类型的空间分布位置进行查询;空间关系查询,如与某种土壤类型相邻的土壤类型、某一行政区域包括的土壤类型、沿河流分布的土壤类型等;SQL 查询,查询满足特定组合条件的土壤信息,如某一行政区域内,沿河流分布的,土壤评级为 5 级的土壤分布。

GIS 具有强大的制图功能,可以编绘出所需的各种要素的专题地图,如土壤评级图、土壤肥力图、土地利用图、土壤类型图及其它一些专题地图,以及一系列社会经济指标统计图等等。在可视化方面,这些专题图层可以叠加在三维 DEM 上显示,可直观地看出不同高程的土壤类型分布、N、P、K 的分布、土壤等级分布等,据此可进行多种专题图的重叠而获得综合信息。同时,利用 RS 的实时信息,对土壤空间信息进行动态的监测,及时更新,调整各种图件。

4 应用实例

土壤的空间分析方法在实际的工作中具有广泛应用。本文运用 GIS 对吴县市横泾镇的土壤类型的空间分布、农业用地适应性评价,对在最大效益下的农业用地结构作出了分析。

利用吴县市横泾镇的地形图和实测数据,建立了如下内容的空间数据库:土地利用类型、DEM、地形坡度、坡向、土壤类型、土壤养分(全 P、全 N、全 K、有机质、水解 N、速效 P、速效 K 和 pH)等。选择土地类型图、土壤类型图、土壤养分图、土地质量评价图等反映土壤理化性质和肥力状况的数据,按照统一规范建立空间数据库。

根据调查地点的实际情况,土壤类型分为:白土、黄泥土、红黄土、黄砂土等。根据

其空间分布位置,形成土壤养分空间分布图,进而对土壤养分进行分等评级,在此基础上统计出各类级别下的分类面积(表1)。

作物生长存在自然季节性差别,并受气候条件的限制,在本系统以高程、坡度、坡向等地形要素来反映试验区内的主要差别。地形数据采用1:5000地形图输入高程点和等高线,内插生成DEM,在此基础上计算出坡度与坡向,以及不同坡度下的土地面积(表2)。

不同的坡度、土壤类型、土壤肥力和土地质量适合不同的土地利用方式。例如坡度在 23° 以上的土地就不适合作为耕作用地。根据农业生产的要求,选择适宜的土壤养分、质量等级,以及地形坡度、坡向等进行空间配置,可计算出不同类型农业生产的最大面积。本文根据实地调查,得出了不同农业生产的平均收益,在此基础上采用线性回归数据模型,以收益最大的原则,可计算出横泾镇最优的农业结构用地^[3]。目标方程为:

$$\text{Max } B = 650X_1 + 1000X_2 + 600X_3 + 500X_4 + 2004X_5 + 1600X_6 + 450X_7 + 2000X_8 + 3800X_9$$

式中:Max B 为最大收益, X₁ 为稻麦种植面积, X₂ 为虾蟹养殖面积, X₃ 为家鱼养殖面积, X₄ 为蚕桑种植面积, X₅ 为桃树面积, X₆ 苗圃面积, X₇ 为蔬菜种植面积, X₈ 为茶种植面积, X₉ 为草坪面积。

据此计算出可能的最大收益可达1.6亿元,比横泾镇当年实际收益高出4000万元。其中各类种养面积分别为:稻麦 19km^2 , 虾蟹 12km^2 , 桃树 4km^2 , 草坪为 11km^2 。计算出各类用地的优化面积后,使用空间约束条件^[3],落实这些地块的空间分布位置。

5 讨 论

空间信息是进行土壤空间分析的基础,土壤背景数据库和农田灌溉、施肥、种子等数据库在形成种植“诊断图”时是非常重要的。将这些结果结合社会经济的投入产出模型,可以估算出预期收益。将作物生产管理、预测模型和智能化专家系统结合,并在决策者的参与下根据产量的空间差异性,分析原因、进行诊断、提出科学方案,落实到GIS支持下的田间作物管理,可以对当地的农业生产进行科学的调控,提出农业生产结构的调整和实施方案。

本文调查统计出的不同农业生产的平均收益是一个现状值,它随着技术和管理水平的提高而不断变化。因此,所谓的可能最大收益也将随农业科技的进步而增加。

采用GIS,在分析与评价模型的基础上,可以对具有时空变化特点的土壤要素进行现状、潜力和质量的评估,反映土壤的时空分布及变异。不仅快速、准确,而且时效性好,可操作性强。

目前田间信息快速采集技术在我国的发展仍大大落后于其它技术。技术创新的方向是

(下转第224页)

表1 横泾镇各类级别下的分类面积(km^2)

级别	土壤养分	土壤评级	土地质量评价
1		2.4	
2	20	4.3	2.4
3	17	20	8.1
4	2	16.4	20.8
5	4		3.2
6			11.7
合计	43	43	46.2

表2 横泾镇不同坡度下的面积

坡度($^{\circ}$)	面积(km^2)
<5	57.46
5~10	0.64
10~23	1.84
>23	0.06

(5) 加强检疫工作，不论是从国外还是国内其它地区引进的原种和良种，均须执行国家有关检疫的规定，以防病害的进入。

3 小 结

长江三角洲是中国淡水水产养殖业较发达的地区之一，1998 年区内淡水养殖水产品总量约 108.35 万吨，占该年本地区淡水总产量 184.20 万吨的 58.82%。自 80 年代以来，本区淡水水产养殖业进入了快速发展时期。随着本区淡水水产养殖业的快速发展和区内社会经济发展带来的水环境污染所面临的许多不确定因素的影响，区内淡水水产养殖业面临着一些亟待解决的问题。针对这些问题的分析及对策的探讨，将有助于本区内水产养殖的健康发展，促进区内水产养殖业迈上新的台阶。

参 考 文 献

- 1 余之祥. 长江三角洲水土资源与区域发展. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1997, 48 ~ 68
- 2 虞孝感、吴楚材等. 长江三角洲地区国土与区域规划研究. 北京: 科学出版社, 1993, 1 ~ 10
- 3 曹正光. 对发展上海外荡渔业的初步探讨. 水产科技情报. 1997, 24 (5): 217 ~ 221
- 4 吴林坤. 太湖网围养殖的发展与思考. 水产养殖, 1999 (1): 20 ~ 22
- 5 赵文武. 中国水产养殖业的发展前景. 中国渔业经济研究, 1998 (1): 12 ~ 14
- 6 王长庚. 江苏水产业发展回顾与展望. 中国渔业经济研究, 1997 (1): 7 ~ 9
- 7 陈达森. 渔业水域环境保护. 北京: 海洋出版社, 1996, 68 -79
- 8 贾敬德. 我国淡水渔业的发展现状及存在问题浅议. 淡水渔业, 1998, 4 (28): 22 ~ 26
- 9 贾敬德. 21 世纪我国淡水渔业展望. 淡水渔业, 2000, 1(30): 3 ~ 6
- 10 邴旭文. 我国淡水特种水产养殖业的现状及对策. 科学养鱼, 2000 (2): 5 ~ 6
- 11 张荣权, 司徒建通. 我国渔业科学技术的发展与展望. 中国渔业经济研究, 1996(1): 8 ~ 11

(上接第 209 页)

研究开发可快速操作，有利于提高采样密度，测量精度能满足实际生产要求的新传感技术，同时需要进一步改善空间分布信息的定量描述与定量处理方法。部分参数将可用扫描方式通过安装于作业机械上的传感器连续来采集，以实现信息快速采集的目的。

参 考 文 献

- 1 汪懋华.“精细农业”研究的发展与农业装备科技创新.《中国农业机械学会第六次全国代表大会暨学术年会论文集》，1998，11，82~87.
- 2 赵其国. 21 世纪土壤科学展望. 地球科学进展, 2001, 16(5): 704~709
- 3 高俊峰. 农业用地结构优化调整系统设计. 农业环境保护, 2002, 21(2):122~125
- 4 陈述彭, 鲁学军, 周成虎. 地理信息系统导论. 北京: 科学出版社, 2000, 124~130