

土壤施肥模型与 GIS 集成的应用研究*

李天宏¹ 孙炎鑫² 薛 安¹

(1 北京大学环境工程系, 水沙科学教育部重点实验室, 北京 100871)

(2 北京市农林科学院植物营养研究所, 北京 100089)

AN APPLICATION OF INTEGRATION OF FERTILIZING MODELS WITH GIS

Li Tian-hong¹ Sun Yan-xin² Xue An¹

(1 Department of Environmental Engineering, Peking University, Key Laboratory of Water and Sediment Sciences, Ministry of Education, Beijing 100871, China)

(2 Institute of Plant Nutrient and Resources, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100089, China)

关键词 地理信息系统, 土壤施肥模型, 模型与系统的集成

中图分类号 S151.95

建立在数据库基础上的土壤施肥决策系统或专家系统开始步入实用化的水平^[1,2], 在指导和帮助土地使用者在生产过程中合理施肥、恢复和提高土壤质量方面发挥着重要作用。这种决策系统没有将土壤空间信息(位置、大小、土壤养分空间分异等)同决策支持有机地结合起来。在 GIS 支持下针对土壤施肥分区进行施肥推荐, 部分考虑了土壤养分空间上的差异, 相比单纯数据库基础上的施肥推荐系统进了一步^[3], 但它仍不能对地块给出推荐施肥方案。要在地块基础上实现不同产量目标下的施肥推荐方案, 必须将土壤施肥模型集成到 GIS 中, 使系统不仅在施肥模型中充分考虑土壤性质的空间分异, 而且模型计算针对具体地块, 从而使 GIS 为科学施肥提供更为直观的决策支持。

模型与 GIS 的集成主要有三种途径^[4], 一是嵌入式的集成; 二是外挂式的集成; 三是通过系统提供的宏语言调用系统基础功能进行二次开发。三种方法各有优缺点。嵌入式的集成方法建立在系统数据结构的层次上, 效率高, 但灵活性差, 不利于模型的更新和新模型的引入。由于我国农业生产者的信息化水平较低, 他们更加关注于系统的实际应用, 也不可能进行二次开发和任何系统层次上的模型更新。因此, 施肥模型通过嵌入式方法集成到 GIS 系统中是一个现实而便捷的选择。

1 土壤施肥模型

土壤施肥量的确定受到作物种类及其产量水平、土壤类型及其供肥能力、肥料种类品种及其利用率、气候及农业技术等方面的综合影响^[5], 目前还没有可实际应用的理论模型。本文针对北京市农业种植区的两种主要粮食作物小麦和玉米采用了回归模型, 模型的输入和输出参数如表 1 所示。

表 1 模型的输入和输出参数

模型类型	输入参数	输出参数
1) 小麦	1) 土壤质地(壤土、砂土、粘土)	1) 最大产量及对应的推荐施肥量
2) 玉米	2) 氮指标(有机质、全氮、碱解氮)	2) 最佳经济效益产量及对应的推荐施肥量
	3) 作物价格	3) 给定产量及对应的推荐施肥量
	4) 氮肥、磷肥的单价	

* 北京市科委“九五”重大项目(951506001)资助

虽然目前氮指标测量中也逐步加入硝态氮和氨态氮,但它们更多地用于追肥模型。考虑到北京作物种植区长期积累的氮指标数据主要是碱解氮和有机质,因此本文对于不同土壤质地和作物类型以有机质、全氮、碱解氮、速效磷为自变量,利用实测数据建立了适于京郊小麦-玉米种植区的土壤施肥回归模型:

$$Y = x_1 \cdot N + \frac{x_2}{N} + \frac{x_3}{P} + \left(\frac{x_4}{N} + x_5 \cdot N \right) \cdot Nw + \left(\frac{x_6}{P} + x_7 \right) \cdot Pw + x_8 \cdot N \cdot Nw^2 + x_9 \cdot Pw^2 + k \quad (1)$$

式中, Y 为作物(小麦或者玉米)的产量(kg hm^{-2}); N 为某一项氮指标,可有三种情况,分别为有机质、碱解氮(mg kg^{-1})和全氮; P 为速效磷; Nw 为需要的施氮量(kg hm^{-2}); Pw 为需要的施磷量(kg hm^{-2})。

求回归方程(1)的一阶偏导数,并令其等于零,即可求得各级基础产量下的土地最高施肥量,将所得的施肥量代入回归方程可以得出最高产量。

$$Nw_1 = \frac{a}{N^2} + b \quad (2)$$

$$Pw_1 = \frac{c}{P} + d \quad (3)$$

式中 Nw_1 、 Pw_1 分别为最大产量时的施氮量和施磷量, a 、 b 、 c 、 d 为系数。

已知作物、化肥的单价时,可根据最佳施肥点应符合边际效益等于边际成本的原则,就可求得方程的最佳施肥量、最佳产量。

$$Nw_2 = \frac{a}{N^2} + b + \frac{p_n}{2 \cdot p \cdot x_8 \cdot N} \quad (4)$$

$$Pw_2 = \frac{c}{P} + d + \frac{p_p}{2 \cdot p \cdot x_9} \quad (5)$$

式中 Nw_2 、 Pw_2 分别为最佳产量时的施氮量和施磷量, p_n 、 p_p 、 p 分别为氮肥、磷肥和作物(小麦或玉米)的单价。

当给定一个目标产量时,可以下式求出相应的施肥量:

$$Pw_3 = \frac{- \left(\left(\frac{x_4}{N} + x_5 \cdot N \right) \cdot \frac{Nw_1}{Pw_1} + \frac{x_6}{P} + x_7 \right) + Q}{2 \cdot \left(x_8 \cdot N \cdot \left(\frac{Nw_1}{Pw_1} \right)^2 + x_9 \right)} \quad (6)$$

式中 Q 为:

$$Q = \sqrt{\left(\left(\frac{x_4}{N} + x_5 \cdot N \right) \cdot \frac{Nw_1}{Pw_1} + \frac{x_6}{P} + x_7 \right)^2 - 4 \cdot \left(x_8 \cdot N \cdot \left(\frac{Nw_1}{Pw_1} \right)^2 + x_9 \right) \cdot x_1 \cdot N + \frac{x_2}{N} + \frac{x_3}{P} + k - Y_t} \quad (7)$$

$$Nw_3 = Pw_3 \cdot \frac{Nw_1}{Pw_1} \quad (8)$$

式(6)~式(8)中 Pw_3 、 Nw_3 分别为给定作物产量 Y_t 下的施磷量和施氮量。以上公式中, k 、 x_1 、 x_2 ... x_9 、 a 、 b 、 c 、 d 为模型待定参数,它们随不同作物、质地、氮指标而变化,本文使用 1290 对实测数据进行这些参数的率定和检验。

由以上公式计算的施肥量如小于零,则表示不用施肥。此外,用户输入的目标产量应当小于等于最大产量,否则系统会自动提示用户进行纠正。

2 模型与 GIS 的集成与应用

本研究使用的 GIS 系统为 MCGIS。MCGIS 是使用 C++ 语言从底层开发的、适用于大比例尺制图和数据分析的桌面 GIS 系统,已应用于京郊粮田施肥咨询中^[6]。

土壤施肥模型的计算建立在地块基础上。地块是土壤养分指标等属性相对均匀的地面单元,在 GIS 系统中以拓扑多边形表示,其连接的属性有机质、全氮、速效磷、速效钾、土壤质地等。本文中,地块的建立方法是根据专家经验,利用野外实际测量数据,在土壤类型图的基础上人工综合而得到地块边界,再经过数字化输入到计算机中,经过交互式图形编辑和输入相应的属性后生成地块图。土壤施肥模

型、数据库和图形之间的关系如图 1。

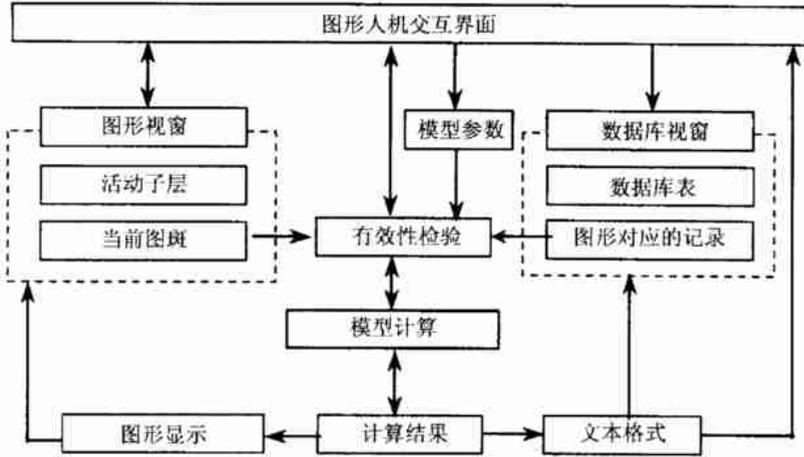


图 1 模型与数据库和图形之间的关系

通过交互式建立地块图形和属性之间的连接后,即可进行施肥模型的实时计算。其步骤为:(1)选择菜单命令进入模型计算功能,系统自动打开和地块图连接的数据库表;(2)在图形窗口中选中一个地块,系统根据它和数据库记录之间的一一对应关系,由地块图形查到数据库中的关键字段值,并根据关键字段值构造 SQL 查询语句,找到地块对应的数据库记录;(3)系统从数据库记录中自动读取模型所需要的有关参数,连同用户在人机交互图形界面上输入的其它参数一起进行模型计算;(4)模型计算结果动态显示在图形用户界面上,同时加亮显示被选中的地块;(5)如果用户修改了数据库的内容,或者通过模型显示窗口修改了模型的一些参数,则转到步骤(2)继续运行,相应的模型计算结果随之更新。

本文方法在北京市通州区徐辛庄乡得到实际应用并取得预期效果。

3 结 论

以地块为基本单元,将土壤施肥模型通过嵌入式的集成方法集成到 GIS 中,能够实现模型计算、地块数据库内容和图形的动态更新,并以“所见即所得”的方式直观地给出地块的推荐施肥方案,克服了基于数据库的施肥专家系统和土壤分区基础上施肥推荐系统的不足。

参考文献

1. 施建平, 鲁如坤, 王德建. 基于 WEB 的施肥决策支持数据库的设计与建立. 土壤, 1999, 31(6): 299~303
2. 潘大丰, 程季珍, 李群, 等. 蔬菜施肥专家系统. 华北农学报, 2000, 15(3): 118~121
3. 白由路, 金继运, 杨俐萍, 等. 基于 GIS 的土壤养分分区管理模型研究. 中国农业科学, 2001, 34(1): 46~50
4. Ortigosa G R, Leo G A, Gatto M. Integrating modeling and GIS in a software tool for habitat suitability assessment. Environmental Modeling & Software, 2000, 15: 1~12
5. 蔡崇法, 丁树文, 史志华, 等. GIS 支持下乡镇域土壤肥力评价与分析. 土壤与环境, 2000, 9(2): 99~102
6. 李天宏, 孙焱鑫, 薛安, 等. 北京郊区粮田高产施肥技术咨询系统的设计和实现. 华北农学报, 2002, 17(1): 131~135