

基于 3S 技术编制大比例尺土壤养分图方法研究

——以吴忠国家农业科技园区为例

王芳¹, 李友宏¹, 米丽娜², 刘汝亮¹

(1. 宁夏农林科学院农业资源与环境研究所, 宁夏 银川 750002; 2. 宁夏银川市环保局, 宁夏 银川 750000)

摘 要: 以地处宁夏吴忠市利通区的国家农业科技园区种植业核心区为例, 介绍基于 3S 技术的大比例尺土壤养分图制图过程, 主要包括基于 DGPS 定位的网格取样法土壤样品采集、基于土壤养分系统研究法 (ASI) 的样品分析、基于 Quickbird 遥感影像和 ArcGIS9 平台的研究区边界和非耕地区域数字化、土壤养分数据库的建立及其与样点属性数据库的链接、基于 Kriging 方法的空间插值和土壤养分图绘制等过程。这一制图方法具有简捷、高效、准确、清晰等特点, 可以更好地反映土壤养分的空间分布特征, 为精准施肥服务。

关键词: 土壤养分图; ArcGIS; 精准农业; 数据库

中图分类号: S127 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)05-0123-04

土壤养分图是精准农业中土壤养分管理的基础^[1], 也是研究土壤养分空间变异特征的基本方法之一^[2]。然而, 土壤养分图不像地形图和行政图那样可通过现有地图直接数字化而成, 土壤养分图必须在野外采样、室内化验的基础上, 经过一系列数学处理才能制成土壤养分的分布图^[3]。传统的土壤养分图大多采用手工绘制, 制图周期长, 精度差, 而且费时、费力。虽然目前制图的软件很多, 但都存在着一定的局限性, 随着 GPS 技术的发展, 可以使得土壤养分图的制作过程大为简便和精确。本文在 ArcGIS9 平台上^[4], 以样区为例, 介绍基于 3S 技术的大比例尺土壤养分图的基本制作过程, 旨在为精准农业技术的推广和土壤养分精准管理服务。

1 研究区概况

研究区位于宁夏回族自治区吴忠市利通区东塔寺乡, 占地面积约 4 002 hm²。地处东经 106°11′~106°51′、北纬 37°30′~37°38′, 海拔 1 120 m。研究区多年平均降水量 213 mm, 其中 7、8、9 三个月的降水量占全年降水量的 63%, 年蒸发量 2 005 mm, 年平均气温 8.8℃, ≥10℃有效积温 3 351℃, 无霜期 145 d。这里灌排便利, 稻麦轮作, 农业生产发展水平较高, 水稻单产为 750 kg 左右, 为宁夏引黄灌区较具代表性的高产地区。

2 土壤养分图编制流程

土壤养分图的编制过程可分为田间取样、样品

分析、养分数据库的建立、采样点导入、样点分布图的生成、数据库链接、空间插值、养分分级及成图等步骤, 具体流程见图 1。

3 土壤养分图编制步骤

3.1 GPS 定点、网格取样

采用规则网格取样既可以避免人为因素的干扰, 使土壤样品更具有代表性, 也有利于进行土壤养分的插值。因为 ArcGIS9 软件的扩展模块 Geostatistical Analyst 在计算半方差函数时, 要求在一种采样间距下必须有一个以上相同距离的样点对才能工作, 而非等距的随机采样很难满足该要求。网格取样的基本方法是将所取样的地块分成一定大小的网格, 在网格中心 2~3 m 的半径内取 8~10 钻土样, 然后将这些土样混合成一个样品, 作为该样点的土壤样品, 混合这些土样的目的是消除土壤在小范围内的变异^[5]。在实际取样过程中, 也可在网结上取样, 只要保证样点间距基本一致即可。当样点确实不能代表该地块的状况时, 应适当移动样点位置, 以取得有代表性的土壤样品。网格的间距目前还没有具体的规定, 根据一些学者的研究, 随着取样间距的减小, 费用和工作量逐渐增加, 当网格间距小于 60 m 时, 费用迅速增加。反之, 取样间距过大时, 土壤养分图的精确性又受到影响。所以, 网格取样时网格间距要根据具体情况而定。土壤养分图的准确性取决于取样方法和取样密度^[6], 以及空间插值的方法^[7], 一

收稿日期: 2008-12-23

基金项目: 国家自然科学基金(30860156), 科技部国际合作重点项目(2005DFA30750)

作者简介: 王芳(1968—), 女, 陕西人, 硕士, 副研究员, 主要从事平衡施肥和精准农业研究。

般以 100 m 的间距为宜^[8]。

考虑到研究区地形平坦、成土母质较为一致,田块间养分的变异性不是很剧烈,因此采用 100 m 的网格间距。具体取样方法是在田间采用差分式 GPS 确定 4~5 个定位控制点,选其中 2 个作为基准点、以 100 m 间距划分网格,以网格结点为圆心、5 m 为

半径,采集 10 钻耕层土壤(0~20 cm)样品,共取土样 306 个。

利用 DGPS 在每个取样点进行定位,这样在取样的同时就可得到每个样点的坐标。当没有 GPS 的情况下,最好在大比例尺的地形图上随时标注取样点的位置,以便以后进行数字化。

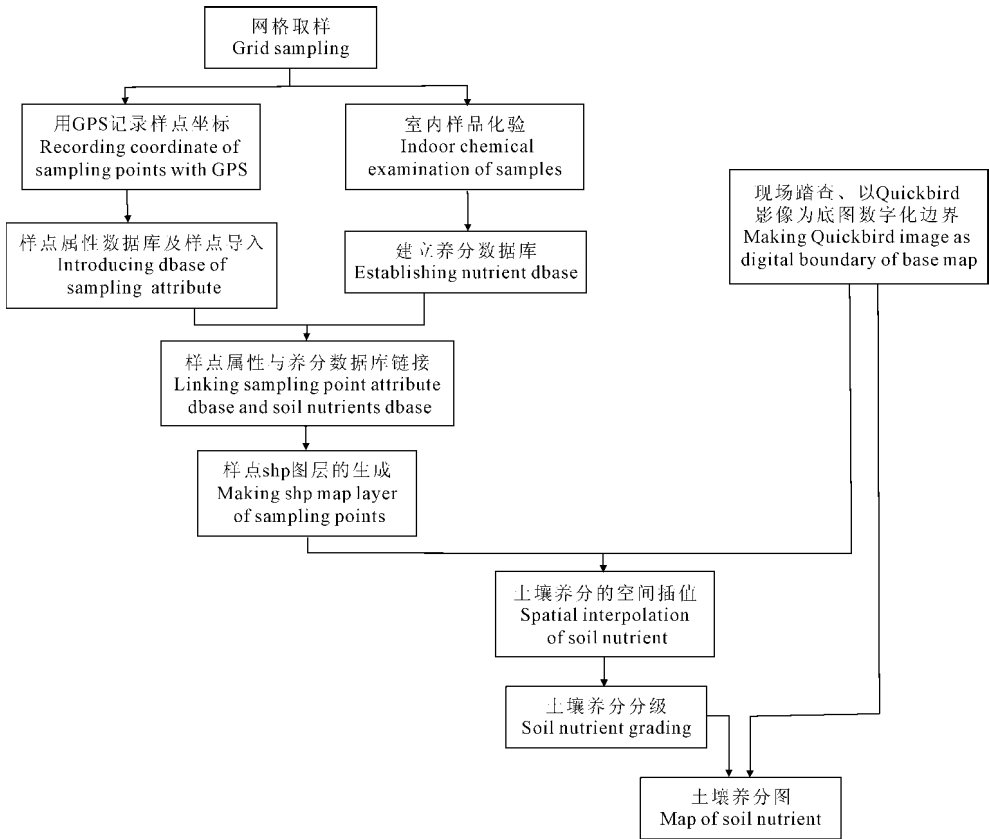


图 1 土壤养分图的编制流程

Fig. 1 The flow diagram of soil nutrient mapping

3.2 土壤养分分析

田间采集的土壤样品,须在室内经过风干、磨碎、过筛等处理,然后进行土壤养分的化学分析。目前土壤养分的化学分析方法很多^[9],应根据土壤养分图制作的不同目的选择所需养分的测定项目和分析方法。一般情况下土壤养分依据其在土壤中的形态可分为三类,即土壤的有效养分、缓效养分和迟效养分。当需要作土壤肥力评价时可以选择测定土壤缓效或迟效养分。而用于养分管理,施肥推荐应选择测定土壤有效养分^[10]。值得注意的是,土壤养分的种类、养分形态和养分测定值分类之间各不相同,又相互联系,如不同的养分种类、不同养分形态,其分类方法不同。所以,在制图时,养分种类、养分形态、分类指标等均应匹配。本试验使用的是土壤养分状况系统研究法(ASI),土壤样品分析在北京中国农科院植物营养实验室进行。

3.3 建立土壤养分信息数据库、土样属性数据库和样点导入

同其他数据库一样,构建土壤养分数据库的方法也很多,不同的数据库平台,不同的应用目的和需要,决定了构建数据库所要使用的方法和复杂程度。在本例中,要实现的是土壤养分分布的制图,数据库的建立方法较简单,使用 OFFICE 2003 中的 EXCEL 生成包,含样点养分编号和养分项目的养分数据,然后将该电子表格另存为数据库格式 dbf 或 csv (逗号分隔值文件)文件(表 1),以备导入 ArcGis⁹ 平台。

在土壤养分分析及其数据库建立的同时,可建立样点属性数据库,由于使用了 DGPS,精确地记录了每个样点的 X, Y 坐标,只需将带有每个样点编号的坐标数据文件同样在 EXCEL 里另存为数据库格式 dbf 或 csv (逗号分隔值文件)文件(表 2)。

分别建好两个数据库后,打开 ArcGis⁹ 的桌面产

品 ArcMap,把带有 X、Y 坐标的样点数据库文件和土壤养分数据库文件导入其中。

表 1 土壤养分数据库格式

Table 1 The file format of soil nutrients database

编号 No.	pH	OM	Ca	Mg		Zn
1	8.00	0.65	2120.25	315.9		2.15
2	7.95	0.65	2052.10	323.2		2.50
3	8.00	0.80	2420.85	428.9		3.15
						
306	8.00	0.60	2470.95	330.5		1.80

表 2 采样点坐标文件格式

Table 2 File format of sampling point coordinate

样品编号 Sample	编号 No.	X	Y
NXia-YR05-1	1	608000	4209990
NXia-YR05-2	2	608100	4209999
NXia-YR05-3	3	608200	4210000
			
NXia-YR05-306	306	593494	4206874

3.4 土样属性数据库、土壤养分信息数据库的链接
要实现土样属性数据库、土壤养分信息数据库的链接,有两种方式:(1)接 2.3 所述步骤,按部就班地实现两个数据库的链接,具体步骤为:在加载的样点属性数据库文件上,右击鼠标选择 Joins and Relates \Join,建立以编号为关键字段的链接,完成后

查看属性表,发现两个数据库的内容已经显示在同一张属性表上了(表 3)。(2)在建立土样属性数据库、土壤养分信息数据库时,可将这两个数据库以编号为准存储在同一张 EXCEL 电子表格中,并另存为数据库格式 dbf 或 csv (逗号分隔值文件)文件。按前述方式导入样点,同时可以打开其属性表查看。这种方式在实际操作中比较简便,推荐使用。

3.5 样点 shapefile 文件的生成

在取样点导入 ArcMap,实现数据库的链接后,将做好链接的样点文件导出为 shapefile 文件,以便在以后的处理中直接使用。步骤为:选定链接好的文件,右击,选择 Export Data,在弹出的对话框中输入输出文件名等即可。

3.6 研究区边界和非耕地区域的建立

使用 QuickBird 遥感影像结合现场踏查对研究区边界和非耕地区域进行数字化,这种方式不仅简便清晰,更重要的是在很大程度上提高了边界和非耕地区域数字化的精确性。边界文件及非耕地区域的数字化与点文件的数字化基本相同,边界和非耕地区域为多边形属性,数字化完成后,给这些文件赋以相应的属性,便于进行分类统计,并对其分别建立多边形拓扑关系,以进行检错纠错,用作包含非耕地区域在内的土壤养分图的边界。加了边界和非耕地区域的样点如图 2。

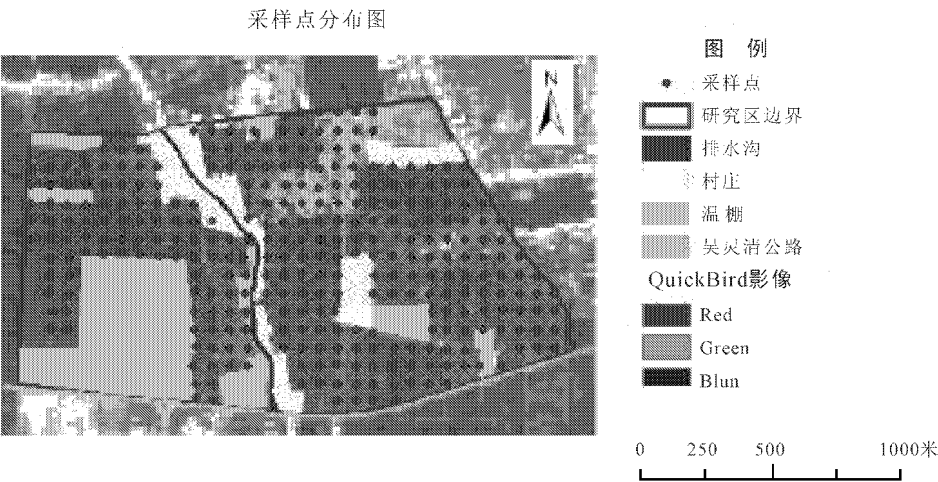


图 2 基于遥感影像的采样点分布图

Fig. 2 Distribution map of sampling points based on remote sensing image

3.7 土壤养分的克里格(Kriging)插值及养分分级
插值技术一方面可以求出未采样点的养分状况,另一方面也可以找出各种养分的空间分布规律。土壤养分的插值用 ArcGis9 的地统计分析模块 Geo-

statistical Analyst 完成。首先利用 Geostatistical Analyst 下的 Explore Data 对养分数据进行初步的探查,包括数据的常规统计特征、有无异常值等^[11],确定养分数据是否符合正态分布,是否存在全球趋势,是否存在

空间上存在自相关,只有当养分存在空间连续性时,插值才有意义,也才能据此选择合适的模型进行拟合。

接着用 Geostatistical Analyst 下的 Geostatistical Wizard 进行插值,插值方法为 Kriging^[12],在插值对话框中选择待插值的养分名称作为插值字段,如果

前面的数据探查中发现该养分为非正态分布,且存在某个方向上的全球趋势,就需要在相应的选项上选择正态变换的函数和去趋势的多项式幂次数。经过精心调整拟合模型的各关键参数,最后得到插值后的养分图。

表 3 土样属性数据库、土壤养分信息数据库的链接
Table 3 Link between sampling point attribute dbase and soil nutrients dbase

样品编号 Sample	编号 No.	X	Y	pH	OM	Ca		Zn
NingXia-YR05-1	1	608000	4209990	8.00	0.65	2120.25		2.15
NingXia-YR05-2	2	608100	4209999	7.95	0.65	2052.10		2.50
NingXia-YR05-3	3	608200	4210000	8.00	0.80	2420.85		3.15
								
NingXia-YR05-306	306	593494	4206874	8.00	0.60	2470.95		1.80

该图为栅格图层,需要对养分重新分级,以配合具体区域土壤养分的管理和评价。参照土壤养分系统研究法(ASI)的土壤养分分级指标^[13],在一定范围内对养分值进行分级,赋予新的值,如低(临界值)、中、高、极高状态,生成土壤养分的填充等值线图或等值线图。具体做法为:在自动生成的养分图层名称上右击,打开 Properties \ Symbology 的 classify,依据标准和实际养分浓度分布情况分为 5 个级别范围,完成后保存插值结果为 Layer 或 ArcGis 的 .mxd 文档,以为后用。至此,土壤养分图制作完毕(图 3)。这里仅以铁(Fe)元素为例,其他元素分布图的制作方法同上。根据精准施肥的方法,如果结合一定的施肥推荐系统,就可以定出各个养分范围所对应的施肥量,从而生成推荐施肥图,为精准农业服务。

像,使用 ArcGis9 软件的桌面产品 ArcMap 进行土壤养分图制作的技术,与传统养分图制图方法相比,很大程度上提高了土壤养分图制作的精度和效率,降低了制作成本。从土壤采样到分析,空间插值直至土壤养分图的制作,是一个相当复杂的过程,尤其是空间插值,插值参数的调整与养分图的精确程度息息相关。并且,插值过程要求制图者必须有插值技术方面的理论知识。土壤养分图的制作不仅具有理论上的参考意义,在实际应用中,也具有很大的指导作用。由土壤养分图可以直观而清晰地反映所研究区各种养分的丰缺状况,可为农户的田间施肥管理提供服务,也为精准施肥体系提供基础数据依据。

参考文献:

[1] Reetz H F, Jr. Site-specific nutrient management system of the 1990s [J]. Better Crops with Plant Food, 1994, 78(4): 14-19.

[2] White J G, Welch R M, Norvell W A. Soil Zn map of the USA using geostatistics and geographic information systems[J]. Soil Sci Soc Am J, 1997, 61: 185-194.

[3] 金继运. “精准农业”及其在我国的应用前景[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1): 1-7.

[4] Flynn J, Pitts T. Inside ArcInfo (2nd Edition) [M]. OnWord Press, 2000, 105-108.

[5] Wollenhaupt N C, Wolkowski R P. Grid soil sampling [J]. Better Crops with Plant Food, 1994, 78(4): 6-7.

[6] Wollenhaupt N C, Wolkowski R P. Cost associated with variable rate phosphorus and potassium applications [J]. Better Crops with Plant Food, 1994, 78(4): 8-9.

[7] Gotway C A, Ferguson R A, Hergert G W, et al. Comparision of kriging and inverse-distance methods for mapping soil parameters[J]. Soil Science Soc Am Journal, 1996, 60: 1237-1247.

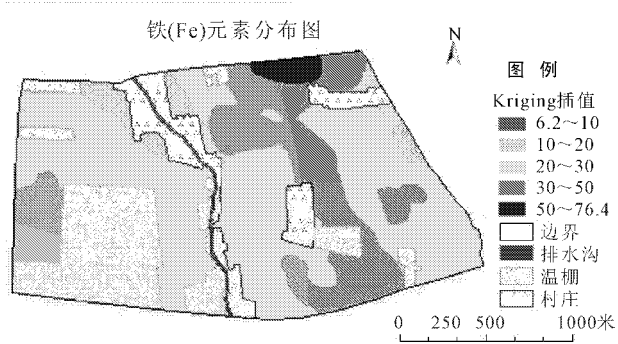


图 3 土壤铁(Fe)元素含量 Kriging 插值图
Fig-3 Map of Kriging estimates for Fe

4 结 论

made the total mineralization increased by 2%~28% (100%FC), 2%~22% (80%FC) and 1%~15%(60% FC in the unwashed-salt matrix respectively and 2%~17% (100%FC), 1%~5% (80%FC) and 7%~14%60%FC) in the washed-salt matrix. Through regression analysis of the active organic matter content of the matrix, it was found that in the two kinds of tested oil shale matrix the active organic carbon content had positive correlation with both temperature and water; in unwashed-salt matrix, the active organic carbon content had no significant correlation with temperature or water, but there were significant correlation on washed-salt matrix ($P=0.0214$). The dynamics of oil shale matrix organic carbon mineralization preferably followed the first-order kinetics, and the most constant of the unwashed-salt matrix decomposition rate constant was $1.2\times10^{-3}/\text{d}$, while the washed-salt matrix was between $0.5\times10^{-3}/\text{d}\sim0.7\times10^{-3}/\text{d}$. During the 60-day period of oil shale cultivation experiment, the organic matter released slowly and the active organic matter content increased as time went on. It was proved that the matrix played an imperative function in supplying nutrients continuously to plant and maintaining roots physiological activity in substrate culture.

Keywords: temperature; water; oil shale matrix; organic carbon; field capacity

(上接第 126 页)

[8] Don Lamker. Precision agriculture-lessons learned[R]. Proceedings of international conference on engineering and technological sciences 2000, Beijing: New World Press, 2000;342-344.

[9] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,1999.

[10] 白由路.基于 Arc/info 的土壤养分图的制作技术[A].精准农业与土壤养分管理[M].北京:中国大地出版社,2002.

[11] 陈立平.精准农业变量施肥理论与实践研究[D].北京:中国农业大学,2003.

[12] Oliver M A. Kriging: A method of interpolation for geographical information systems[J]. International Journal of Geographic Information Systems, 1990, 4(4):313-332.

[13] <http://cclab.caas.ac.cn/jrepository/articletext.jsp?id=591>.

³S-based large-scale soil nutrients mapping research

——Taking Wuzhong State Agro-Hi-Tech Zone as an example

WANG Fang¹, LI You-hong¹, MI Li-na², LIU Ru-liang¹

(1. Institute of Agricultural Resources and Environment, Ningxia Academy of Agroforestry Sciences, Yinchuan, Ningxia 750004, China; 2. The Environmental Protection Bureau of Yinchuan, Yinchuan, Ningxia 750000, China)

Abstract: Taking Wuzhong State Agro-Hi-Tech Demonstration Zone as an example, this paper explained the large-scale soil nutrients mapping based on Quickbird image, Arcgis 9 desktop and DGPS, as well as necessary field and lab works. The approach followed DGPS-based field 100 m grid soil sampling, ASI soil testing, Quickbird-based field surveying for farmland and settlement boundary, and soil nutrients database, spatial interpolation and soil mapping. This ³S-based soil nutrients mapping approach, integrated into ArcGis geodatabase framework, was efficient and accurate. It facilitated greatly single and comprehensive nutrient assessment and fertilization recommendation.

Keywords: soil nutrient map; ArcGis; precision agriculture database