

GIS 支持下豫东地区土壤野外采样布点方法探索^①

李 梅^{1,2}, 张学雷^{1,2*}, 武继承³

(1 郑州大学自然资源与生态环境研究所, 郑州 450001; 2 郑州大学水利与环境学院, 郑州 450001;

3 河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所, 郑州 450002)

摘要: 以河南省通许县潮土区中低产田为例, 介绍了一种 GIS 支持下的土壤野外采样布点方法, 并对所取得的结果进行了讨论。根据要求覆盖研究区中低产田潮土的面积、涵盖所有土种类型、表层采样与剖面采样相结合、网格点与类型控制点相结合等原则, 确定采用 $2\text{ km} \times 2\text{ km}$ 网格布点方法。室内初步布点 157 个, 涵盖了研究区 16 种土种类型, 其中普通网格点 141 个, 类型网格采样点 6 个, 类型参考采样点 10 个。将布点图层与土壤图进行叠加分析, 建立了空间数据库, 完善布点属性表, 作为野外精确采样的依据。实际采集普通网格点 135 个, 剖面点 15 个。将室内布点与实际采样点位信息在数据库中分层管理, 方便查询与更新。特别在剖面采样过程中发现实际采样与第二次土壤普查土种图比较, 存在某些差异, 应该根据实际采样诊断土壤类型并在 GIS 界面修正原始土壤分布图, 将此改动作作为建议提出, 以便完善当地的土壤图。

关键词: GIS; 布点; 方法

中图分类号: S159.3

土壤是自然环境和生态系统的重要组成部分, 是农业生产的基本资料, 是珍贵的自然资源^[1]。开展区域土壤环境调查与评价工作, 对范围内土壤资源的类型、数量、质量和空间变异的综合考察, 系统、全面、准确地掌握区域土壤环境质量状况, 能够为合理开发利用土壤环境资源、加强对土壤资源的管理及污染防治等工作提供基础数据和技术支持, 缓解我国目前所面临的人口、资源、环境与粮食之间的尖锐矛盾^[2-8]。由于土壤是一个极其复杂极不均匀的连续体, 所要调查研究的对象是在一定范围内土壤的“总体”, 但是又只能通过采样对样品的分析, 达到以少数样品论“总体”的目的, 因此采集的样品要具有代表性、科学性^[9]。同时由于土壤采样费时费力, 样品分析成本高, 确定研究区域调查所需要的采样点数目及分布是一个十分重要的环节, 如果布点不当, 不仅土样没有代表性, 得到的数据也没有意义^[10-11]。布点环节在质量控制中最易造成较大误差, 由于空间分析是根据有限个采样点采取一定的插值方法为未采样点赋予相应的土壤属性值, 形成连续的空间分布图, 采样密度对空间分析及土壤特性的推估精度都有影响, 通常认为在较大采样密度的情况下误差较小^[12-15], 要根据监测面积大小、工作量大小、监测目的、监测项目和样品类型灵活布

点, 并通过现场调查、资料收集, 在全面了解区域环境因素状况的基础上考虑采样点的布设^[16], 客观真实地反映监测区现状。

目前国内常用的土壤采样布点的方法主要有主观判断采样 (judgmental sampling)、简单随机采样 (simple random sampling)、规则网格采样 (grid sampling)、分区采样 (stratified sampling) 及混合采样 (composite sampling) 等^[17]。在环境因素简单的监测区, 常采用网格法, 具有样点分布比较均匀、更稳健地反映研究区土壤性质及方差特征、相对快速及易于用计算机软件进行处理的优点。传统的做法是在一定比例尺的地形图上以横轴、纵轴等距离划分线制成网格, 取网格对角线的交点, 大致确定出采样点的位置, 然后去野外采样时确定具体的采样位置, 回到室内根据采样点手工绘制内插图, 其准确性受到采样间距的限制, 间距越小, 准确度越高。显然这种方法工作量大, 主观因素对结果的影响也大, 分析效率低, 不能够准确、全面地掌握土壤信息, 满足不了数字制图和建立数据库的需求^[18-20]。而精细农业的提出, 将农业带上数字和信息时代, 3S 为土壤的野外调查提供了众多便利^[21-22], GIS 更是准确布设采样点, 进行空间插值运算以全面掌握土壤信息的有力工具。赵永辉^[23]、

^①基金项目: 国家自然科学基金项目 (40671012) 和河南省重大公益项目 (081100911600-1, 081100911500-1) 资助。

* 通讯作者 (zxlzzu@zzu.edu.cn)

作者简介: 李梅 (1985—), 女, 湖北孝感人, 硕士研究生, 主要从事地理信息与资源评价方面的研究。E-mail: lmlj116@163.com

李玲^[24]、闫健康^[25]等都做了相关研究, 表明 GIS 用于野外采样点位布设快捷、有效。

陈百明^[26]在对“谁来养活中国^[27]”的论述中提到通过中低产田的改造提高生产能力将对粮食生产的持续和稳定发展产生重要影响, 而河南省是我国的农业大省, 潮土区中低产田在该省占据了一定的面积, 对该区域中低产田的调查和评价具有重要意义。潮土类土壤特点是表层大部分已经耕作熟化, 土层颜色、质地、pH、养分状况等因地形、母质而异, 一般变幅较大, 土壤水、肥条件好, 适于作物生长。国内多数学者从土壤障碍因素的角度, 认为中低产田是指土壤环境因素不良或土体内存在一种或几种障碍因子, 影响了土壤生产力的发挥, 从而导致农作物产量低的一类耕地土壤, 或者说是指那些环境条件不良、综合农业技术措施不高, 农作物全部环境因素配合不协调, 产量低的耕地^[28]。本文以通许县为例, 介绍了 GIS 支持下对中低产田土壤野外采样的布点方法。通过布点采样, 为下一步全面掌握该区域土壤的诊断性状, 进行评价标准的确定与土壤改良打下基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

通许县位于河南省中部偏东北如图 1, 地处豫东平原, 北纬 $31^{\circ}15' \sim 34^{\circ}34'$ 和东经 $114^{\circ}18' \sim 114^{\circ}38'$, 东接杞县、西连尉氏, 南邻扶沟、太康, 北交开封县。



图 1 研究区地理位置

Fig. 1 Geographical location of study area

属暖温带大陆季风气候, 四季分明冷暖适中, 年平均日照 2 500 h, 年平均温度 14.9℃, 无霜期 222 天, 年降水量 775 mm。通许县土地总面积为 767.53 km², 其中耕地面积占总土地面积的 74%, 人均耕地约为 870 m², 地势平坦, 潮土(淡色潮湿堆积土)面积居多, 为主要分布土壤类型。

1.2 数据来源及处理方法

本研究所使用的数据有 1982 年河南省通许县 1:5 万土壤图和乡镇行政区划图, 通许县及周围县共 6 张 1:5 万地形图。具体技术流程图如图 2 所示。

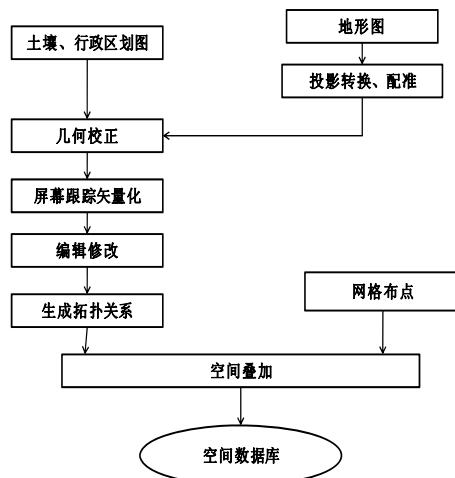


图 2 技术流程图

Fig. 2 Technique flowchart

首先在 ArcGIS9.2 环境中对地形图设置统一的坐标系统和投影参数, 用 Georeferencing 工具将 6 张地形图按照图中标有的公里网格坐标进行精确配准, 然后在 Spatial Adjustment 模块下将土壤图和行政区划根据配好的地形图做几何校正, 控制点选取明晰可辨的地物点, 如桥梁、河流拐点、道路交叉点等。在此基础上, 根据土种图斑对土壤图进行屏幕跟踪矢量化, 生成土种图层, 并在相应的图层属性表中编辑完善对应的数据编码和土属、土种名称等字段, 形成土种的空间数据库并建立拓扑关系, 检查并改正拓扑错误, 保证数据的完整性。为了方便野外采样, 建立行政区的边界图层和村庄图层。上述各图层坐标为 Xian_1980_GK_Zone_20 直角坐标系。

上述预处理工作完成后开始进行室内布点, 本次布点方法采用规则网格法。根据要求覆盖中低产田潮土的面积、涵盖所有土种类型、表层采样与剖面采样相结合、网格点与类型控制点相结合同时不浪费人力物力等原则确定采样密度为每 4 km²一个点^[29], 即网

格点间距要求约为 2 km。样点计算以待研究的土壤类型面积占土壤总面积的比例为基准^[30], 计算式如下:

$$n = \frac{z^2 p(1-p)}{d^2}$$

式中, n 为样点数, d 为允许误差(控制在 10%), p 为待研究土壤占土壤总面积的比例(待研究土壤面积为 570 km², 占总面积的 74.3%); z 为可靠性指标, 根据置信度查得值(在 99% 置信水平下, z 取 2.6), 计算出本次采样样点数大约为 130 个, 即每个点控制的待研究土壤面积约为 4 km², 确定网格点间距要求大约为 2 km 是可行的。

具体布点方法: 在 ArcToolbox 中利用 Create Fishnet 命令进行参数设置得到 2 km×2 km 网格, 利用 Add XY Coordinate 命令得到网格中心点的经纬度信息以便在实际调查中利用 GPS 定位采样, 借助 Project 来实现网格中心点图层的投影转换, 之后与通许县土壤图做叠置分析, 使得每个点都有其对应的土种信息以确定所需要的土壤调查点, 即保留目标土种(砂土、小两合等 16 种土种, 表 1) 对应的布点, 参照行政区划, 去掉一些落在村庄里面的点方便野外采样, 并对保留的点重新编号。由于需要采集土种类型剖面点, 根据网格点与类型控制点相结合的原则, 类型划分所需的剖面点如果落在网格点上就两者兼顾, 即作为类型网格剖面点; 若一些土种类型, 特别是小图斑类型不在网格点上, 则要在网格以外进行另外布点, 即类型参考剖面点。所以, 在没有网格点落入的小图斑中补充布设类型参考剖面点, 要求把点布在相应土种最大图斑的中心位置并且尽量参考第二次土壤普查剖面点的位置, 生成一个类型参考剖面点图层。最后将所有布点图层与行政区图层进行叠置分析。这样, 所形成的空间数据库中每个点包括其编号、经纬度坐标、土属、土种名称及编码、所属乡镇、邻近村庄等基本信息。将所有布点图层属性表 Export 做采样依据。作图过程中, 将网格点与剖面点分别分为两组, 根据工作量分 4 组进行实地采样。

2 结果与讨论

2.1 研究区布点总体分布

通过对空间数据库中土种和布点图层的空间分析和统计分析可以得知: 通许县共有潮土、褐土(简育干润锥形土)和风沙土(干润砂质新成土)3 个土类, 5 个亚类, 35 个土种, 本次研究涉及砂土、小两合等 16 种土种(目标土种), 66 个土种斑块, 按上述布点原则共布点 157 个, 普通网格点 141 个, 类型网格采

样点 6 个, 类型参考采样点 10 个, 各种采样类型在不同土壤类型上的分布见表 1。依据布点草图(图 3), 结合布点属性表进行野外采样。

表 1 各种采样类型在不同土壤类型上的分布情况统计表

Table 1 Point distributions in soil types under different sampling methods

土壤类型	采样类型		
	网格布点	类型网格剖面点	类型参考剖面点
小两合	89/87	1/1	
砂壤土	50/46	1/1	
底黏小两合	1/1	1/1	
砂土	1/1	1/1	
夹壤砂壤土	0	1/1	
底砂小两合	0	1/1	
腰黏砂土	0	0	1/1
腰壤砂壤土	0	0	1/0
体壤砂壤土	0	0	1/1
夹黏砂壤土	0	0	1/1
底黏砂壤土	0	0	1/1
体砂小两合	0	0	1/1
腰砂小两合	0	0	1/1
夹黏小两合	0	0	1/1
腰黏小两合	0	0	1/1
半固定砂丘紧砂风砂土	0	0	1/1

注: 斜杠/左边为室内布点数, 右边为实际采样点数。

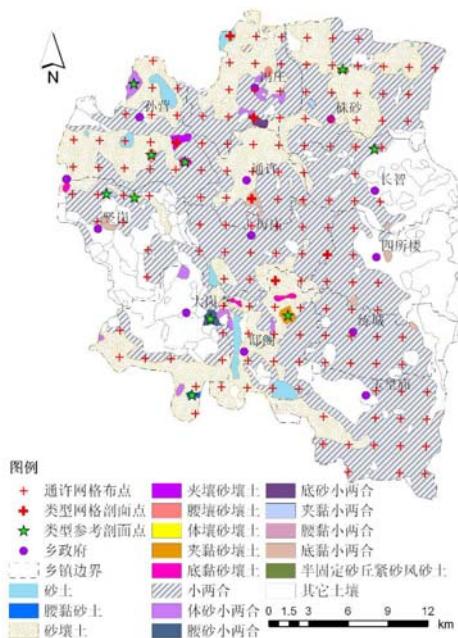


图 3 室内布点草图

Fig. 3 Sketch map of sampling sites

根据图 4 中土种属性表面积字段统计, 研究区目标土种约有 570 km^2 , 占据了该县 70% 以上的面积, 尤其

是小两合和砂壤土面积比例较大,如图5,布点基本涵盖了所有的土种类型,符合采样布点的基本原则与目标。

Shape *	名称	代号	Shape_Length	Shape_Area	图斑名称
Polygon	小两合	1121	17082.917254	3325850.733353	小两合
Polygon	淤土	1131	3515.094238	387735.754612	其他土种
Polygon	两台土	1128	4748.647583	963398.762867	其他土种
Polygon	底砂淤土	1135	2836.925807	521242.124189	其他土种
Polygon	砂土	1111	6379.641452	2274629.392533	砂土
Polygon	腰砂淤土	1133	4826.6279	732957.205888	其他土种
Polygon	两台土	1128	2413.272672	275830.565592	其他土种
Polygon	低砂小两合	1122	1657.697668	172633.651031	低砂小两合
Polygon	小两合	1121	20573.031666	5328121.611865	小两合
Polygon	低砂淤土	1134	1430.243464	145121.674134	其他土种
Polygon	两台土	1128	3286.246078	453810.257551	其他土种
Polygon	腰砂淤土	1133	14078.251135	4970882.931118	其他土种
Polygon	低砂两台土	11210	16653.552531	6181358.698132	其他土种
Polygon	淤土	1131	2816.812286	458212.315487	其他土种
Polygon	低砂淤土	1134	2583.260942	444547.416161	其他土种
Polygon	底砂淤土	1135	6044.042223	2067440.713145	其他土种
Polygon	腰粘质合土	11212	3544.574723	583003.107534	其他土种

图 4 数据库中研究区土种属性表界面

Fig. 4 Database interface of soil attributes in study area

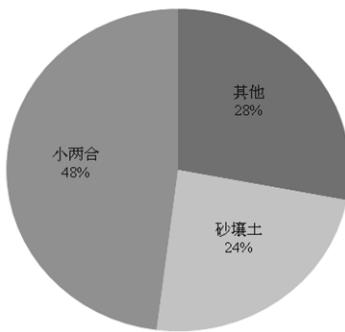


图 5 土种面积分布图

Fig. 5 Area distribution of soil types

2.2 生成空间数据库方便管理点位信息

GIS 最基本的特点就是每个数据项都有对应的空间坐标，能够实现属性数据与空间位置相连接。借助 GIS 强大的数据管理、图形显示和空间分析功能，按照上述布点方法客观生成一系列布点的经纬度信息后，在 Geodatabase 中对布点进行空间管理，为将来与属性数据相连接、查询等工作做准备，数据库管理界面如图 6 所示。该数据库中主要包括研究区土种图层、行政图层、拓扑关系数据集、室内布点及后来的野外实际采样点图层。

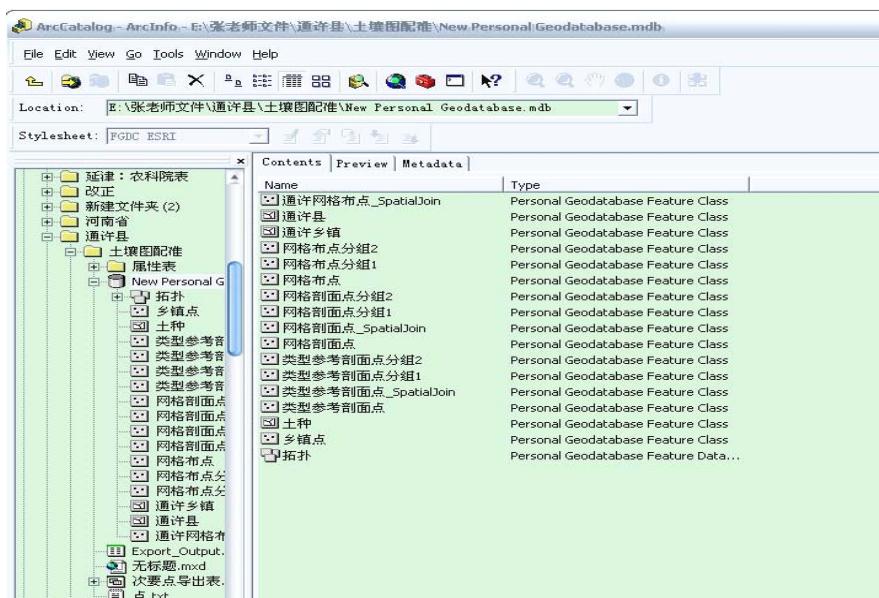


图 6 数据库管理界面

Fig. 6 Interface of geodatabase

依据室内布点草图和点位属性表,用GPS精确定位去野外采样,采样都是在播种前、收获后进行,土壤养分变化相对稳定。向当地农民了解农业生产状况,对周围景物照相并描述,填写调查表内容,特别是要准确填写实际采样点经纬度,因为此后的空间插值运算是基于空间坐标进行的。农化样采样采用“X”法,以GIS所布点的经纬度为中心,在周围10 m范围内选取4个点,采集0~20 cm的耕层土壤,用四分法留取样品1 kg,并用标签记录编号等信息。类型剖面点的采集深至母质层,大约为110~150 cm,准确描述并记录各层次的理化特征,在各层次典型中心部位自下而上采样放入土盒中保存,并在每层用环刀取2个重复样测定土壤体积质量(容重)。由于客观原因(如新建城区、水域等)舍弃1个剖面点和6个普通网格布点,实际采样点150个,其中耕层土壤样品135个,剖面点15个。将野外采样得到的实际经纬度坐标单独作为一个Shapefile图层输出,即实际采样点图层。将室内原始布点与实际采样点在数据库中分层管理,以方便查询和更新。二者在ArcMap界面图形显示如图7,能够很容易看出误差较大甚至记录错误的采样点并了解客观原因,为开发专家咨询系统提供依据,克服了传统方法中样点描述不详细,无法在图中清晰标识的缺点,保证了后期的空间插值评价工作的准确性。比较布点编号所对应的土壤属性,可以看出哪些点位处土种发生了变化,方便此后土壤图的修订完善工作。

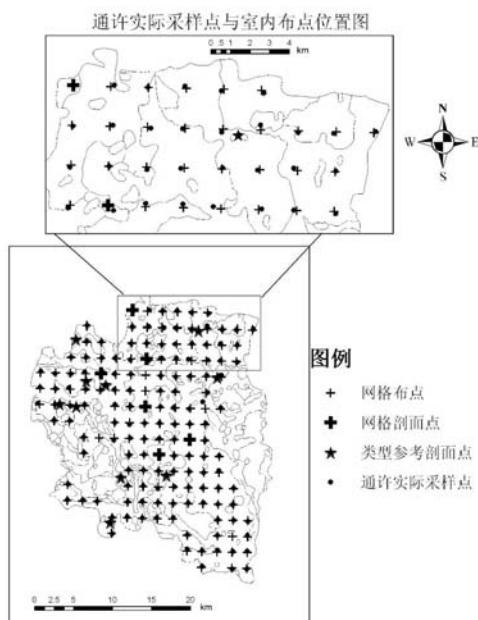


图7 实际采样点与GIS布点分布图

Fig. 7 Distribution maps of GIS-based sampling sites
and actual sampling sites

2.3 类型剖面点的布设

布点原则上考虑表层采样与剖面相结合、网格点与类型控制点相结合,类型划分所需的剖面点如果落在网格点上就两者兼顾,如果没有落入就在该土种面积最大的图斑中心处布点。针对王玉丰等^[31]提出的布点采样存在的问题,剖面点都是选取同一土种面积最大的图斑,表现特征最明显、最稳定,并且尽量参考第二次土壤普查数据,使之与第二次土壤普查剖面点靠近,具有一定的代表性,避免各种非调查因素的影响。研究区土种类型16种,由于某小图斑对应土种目测已经发生较大的变化故舍弃,实际采集剖面点15个,目测所采集的剖面点类型与室内布点基本吻合,但仍有待室内分析证实。从剖面采集过程中发现,实际采样与第二次土壤普查土种图比较,存在某些差异,土壤性质有不同程度的变化,应该根据实际采样诊断土壤类型并在GIS界面修正原始土壤分布图,将此改动作为建议提出,以便完善当地的土壤图。

3 结论

土壤调查前期的布点工作作为整个土壤调查与评价工作的一个重要技术部分,运用GIS手段进行布点具有快捷、准确、宏观显示等多方面的优点,节省了人力、物力,提高了工作效率。本文主要以豫东地区通许县为例,介绍了GIS支持下对潮土区中低产田土壤野外采样的网格布点方法,初步布点157个,涵盖研究区16种土种类型,实际采集普通网格点135个,剖面点15个,并将布点与采样结果以图表的形式展示进行讨论,并建立空间数据库。后期将借助GIS技术将室内分析得到的土壤属性数据与空间位置属性相连接,建立完善的数据库系统并能实现实时更新,完善当地土壤图,通过点面扩展方法生成土壤性质空间分布图,为下一步研究工作向低产砂质潮土诊断标准的数字化分析与表达以及对区域土壤资源进行评价提供重要数据库支持。

参考文献:

- [1] 夏家淇,骆永明.关于耕地土壤污染调查与评价的若干问题探讨.土壤,2006,38(5): 667~670
- [2] 高玉风,焦峰,叶喜文.农田土壤监测上的GIS技术应用.黑龙江八一农垦大学学报,2006,18(3): 41~45
- [3] Zhang XL, Tan MZ, Chen J, Sun YC. Impact of land use change on soil resources in the peri-urban area of Suzhou city. Journal of Geographical Sciences, 2005, 1(15): 71~79

- [4] Zhang XL, Chen J, Tan MZ, Sun YC. Assessing the impact of urban sprawl on soil resources of Nanjing city using satellite images and digital soil databases. *Catena*, 2007, 69: 16–30
- [5] LiuYS, Wang LJ, Long HL. Spatio-temporal analysis of land-use conversion in the eastern coastal China during 1996–2005. *J. Geogr. Sci.*, 2008, 18: 274–282
- [6] Zhai LM, Liao XY, Chen TB, Yan XL, Xie H, Wu B, Wang LX. Regional assessment of cadmium pollution in agricultural lands and the potential health risk related to intensive mining activities: A case study in Chenzhou City, China. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, 20: 696–703
- [7] Borut V, Laura P, Ajmone Marsan F. A method for soil environmental quality evaluation for management and planning in urban areas. *Landscape and Urban Planning*, 2008, 88: 81–94
- [8] 赵其国. 我国土壤调查制图及土壤分类工作的回顾与展望. *土壤*, 1992, 24(6): 281–301
- [9] 刘素云. 农田土壤监测样点布设与样品采集. *农业环境科学报*, 1987, 6(5): 24–26
- [10] 许红卫, 王柯. 田间土壤采样数据的统计特征与空间变异性研究. *浙江大学学报农学与生命科学版*, 2000, 26(6): 665–669
- [11] 张定祥, 沈非, 史学正. 太湖流域土壤质量调查样点与剖面点分配的确定方法. *土壤*, 2001, 33(5): 268–272
- [12] Wilson JP, Spangrud DJ, Nielsen G, Jacobsen JS, Tyler DA. Global positioning system sampling intensity and pattern effects on computed topographic attributes. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1998, 62(5): 1410–1417
- [13] Mueller TG, Pierce FJ. Soil carbon maps: Enhancing spatial estimates with simple terrain attributes at multiple scales. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2003, 67(1): 258–267
- [14] 姚丽贤, 周修冲, 蔡永发, 陈婉珍. 不同采样密度下土壤特性的空间变异特性及其推估精度研究. *土壤*, 2004, 36(5): 538–542
- [15] 陈光, 贺立源, 詹向雯. 耕地养分空间插值技术与合理采样密度的比较研究. *土壤通报*, 2008, 39(5): 1 007–1 011
- [16] 张志元. 试论生态监测样点设置. *甘肃环境研究与监测*, 1991(8): 33–36
- [17] 陈天恩, 陈立平, 王彦集, 郜允兵, 任仲山. 基于地统计的土壤养分采样布局优化. *农业工程学报*, 2009, 25(增2): 49–54
- [18] 王彩云. 利用 GIS 技术优化网格布点. *福建环境*, 1998, 15(6): 17–30
- [19] 符名引, 谢荣安, 罗杨. ArcGIS 在土壤微量元素分布研究中的应用. *地理空间信息*, 2007, 5(3): 44–46
- [20] 潘贤章, 史学正. 土壤质量数字制图方法浅论. *土壤*, 2002, 34(3): 138–140
- [21] 潘贤章, 梁音, 李德成, 孙波, 罗明, 赵其国. 基于 3S 集成技术的土壤侵蚀图野外校核. *土壤*, 2007, 39(6): 948–952
- [22] Elisabeth N. Bui. Soil survey as a knowledge system. *Geoderma*, 2004, 120: 17–26
- [23] 赵永辉. 基于电子地图的土壤污染状况调查点位的布设及其应用. *微型电脑应用*, 2009, 25(8): 16–18
- [24] 李玲, 陈伟强, 江辉, 冯新伟. 3S 在土壤布点与采样中的应用. *中国农学通报*, 2007, 23(6): 388–391
- [25] 闫健康. GIS 支持的平原地区乡(镇)域村庄布点规划研究. *河南: 河南大学*, 2007: 32–50
- [26] 陈百明. 论“谁来养活中国”. *自然资源学报*, 1996, 11(3): 210–214
- [27] Brown L. Who Will Feed China: Wake Up Call for A Small Planet. New York: W. W. Norton and Company, 1994, 52
- [28] 闫军. 基于 GIS 的宁夏引黄灌区中低产田遥感调查. *农业科学研究*, 2006, 27(4): 47–49
- [29] 朱立新, 周国华, 任天祥. 农业地球化学调查研究的基本工作方法. *有色金属矿产与勘查*, 1994, 3(6): 368–373
- [30] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1998
- [31] 王玉丰, 赵斌, 姜娟, 路钰, 董旭. 辽宁省耕地地力调查布点及采样问题与建议. *辽宁农业科学*, 2003(3): 27–29

Sampling Point Arrangement Based on GIS in Eastern Henan Province

LI Mei^{1,2}, ZHANG Xue-lei^{1,2}, WU Ji-cheng³

(1 Institute of Natural Resources and Eco-environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

2 School of Hydraulic and Environmental Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

3 Institute of Plant Nutrition and Environmental Resources, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: A method of soil sampling point arrangement based on GIS based in Tongxu County, eastern Henan Province was conducted after some basic rules such as covering the studied soil and its species, combining surface and profile soil sampling points together and integrating grid points and soil type control points. 2 km × 2 km grids were created for arranging 157 soil sampling points including 141 ordinary and 6 type control grid spots, as well as 10 type control reference points, matching all the 16 soil types of the region. The layer of samples was overlaid with the soil map to establish a database of soil sampling point attributes and spatial patterns by which 135 topsoil sites and 15 profiles were actually collected. It is a more convenient way to search and update the soil information by layer-managing the soil sampling points in the database, for instance, some changes since the 2nd general national soil survey during sampling in 1980's have taken place so that it is needed to diagnose the soil type and improve the initial soil map.

Key words: GIS, Soil sampling points, Method