

基于 ArcGIS Desktop 的大豆田间处方图生成方法的研究

张继成¹, 陈海涛², 郑萍¹, 陈菲¹

(1. 东北农业大学 电气与信息学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 东北农业大学 工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要: 通过对比国内外相关研究, 研究了基于 GIS 平台建立大豆田间处方生成方法。选取采集于黑龙江红星农场 120 个采样点的土壤养分数据, 利用 Kriging 插值法绘制土壤养分分布图。在此基础上, 利用 ArcGIS Desktop 平台的内嵌空间分析模块进行插值分析获取处方图。通过实验证明, 基于 GIS 平台建立的大豆处方图能够有效分析土壤养分与产量的相关性, 并在短期决策上实现增产的目的。

关键词: ArcGIS Desktop; 处方图; Kriging; 土壤养分; 变量施肥

中图分类号: S224.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2013)06-0797-04

Research on Prescription Generation Method of Soybean Production Based on ArcGIS Desktop

ZHANG Ji-cheng¹, CHEN Hai-tao², ZHENG Ping¹, CHEN Fei¹

(1. Electrical & Information College, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Engineering College, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: By comparing relative research, this paper studied soybean prescription generation method in the field based on the GIS platform. The experiment chose 120 soil samples data from Hongxing Farm in Heilongjiang province. Then made soil nutrient distribution map by Kriging interpolation method. On this basis, established prescription map based on embedded spatial analysis module of interpolation analysis in ArcGIS Desktop platform. This method could analysis the relationship between soil nutrient and soybean yield, which showed that soy prescription map based on GIS platform could achieve production goals in short-term decisions.

Key words: ArcGIS Desktop; Prescription map; Kriging; Soil nutrients; Variable fertilizing

变量施肥是根据作物在生长过程中对养分的需要, 结合土壤肥力水平, 利用信息技术指导变量施肥, 通过精准农业装备进行变量作业, 实现定位、定时、定量的最优施肥效果, 避免肥料浪费与不足, 减少肥料成本和环境污染, 从而实现减肥增效的目的, 对农业生产和可持续发展具有重要意义。目前, 变量施肥技术成为各国农机装备领域研究的重点内容。很多国外公司研究的变量施肥作业机械已经运用 AgGPS 进行定位, 结合“作业处方图”, 通过机载计算机的控制, 实现了作业机具的导航、作业记录、成图、变量控制、土壤取样等多种功能应用, 而且通过驾驶室内装备的可视化设备查看机具的工作状态, 根据机载监视系统来观察施肥量、作业位置、行走轨迹等作业信息^[1-3]。

处方图生成技术是变量施肥技术存在和发展的重要基础, 是制约变量施肥技术发展的重要瓶颈问题。目前, 国内外处方图生成方法的研究主要有以下几种: 一种是基于冠层光谱指数的变量施肥方

法, 它是利用光谱遥感技术获得同一空间位置作物长期的光谱数据, 从而获得作物生长发育的长势信息^[2], 该方法主要依赖于遥感仪器, 投入资金比较多; 一种是叶绿素计, 该仪器以叶绿素对红光和近红外光的不同吸收特性为原理, 测定植物叶片的相对叶绿素含量, 通过叶绿素与叶片全氮的关系来反映作物的氮营养状况^[4-6], 进而确定作物是否缺氮, 对其他元素的测定报道不多。

目前应用较广的是基于土壤肥力与目标产量的变量施肥研究^[7-8], 它将土壤类型、土壤质地、土壤养分含量、历年施肥和产量情况等信息输入计算机, 制成基于 GIS 土壤养分或肥料施用量图层, 形成了精准农业的技术支持体系, 并在此基础上发展形成了精准农业变量施肥技术, 即在田间任何位点上(或任何一个操作单元上)均实现了各种营养元素的全面平衡供应, 使肥料投入更为合理, 肥料利用率和施肥增产效益也提高到较理想的水平。这也是国内很多研究机构所采用的主要方法。本文

收稿日期: 2013-04-28

基金项目: “十二五”农村领域国家科技计划课题(2011BAD20B03-01-02); 黑龙江省研究生创新基金(yjsx2011-068hlj); 东北农业大学青年创新基金(2011QN206)。

第一作者简介: 张继成(1980-), 男, 博士, 工程师, 主要从事农业自动化研究。E-mail: qitian_1@163.com。

通讯作者: 陈海涛(1962-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事农业机械化与自动化研究。E-mail: haitao1963@yahoo.com.cn。

在详细测定土壤肥力变异性的基础上,借助全球卫星定位系统、地理信息系统以及构成特定点养分管理系统,对具体田块进行精确调控施肥,利用精确作业机的变量投入达到变量施肥和因地制宜的目的。

1 试验设计及采样方法

1.1 试验设计

试验地黑龙江红星农场位于小兴安岭南麓, N 48°02' ~ 48°17', E 126°47' ~ 127°15', 属大陆性季风气候区,年平均降水量 555.3 mm,年 $\geq 10.0^{\circ}\text{C}$ 积温 2 293.1 $^{\circ}\text{C}$ 。土壤属草甸黑土,黑土层厚度 30 cm,有机质含量 4%。试验作物为大豆,前茬作物为玉米。

选取 N 48°10'54" ~ 48°11'21", E 127°02'06" ~

表 1 精准农业第二作业区 4~6 地号部分土样养分含量(2012 年)

Table 1 Part of soil samples' nutrition contents of No. 4-6 in precision agricultural section II in 2012 N, P, K (mg · kg⁻¹)

样点名称 Sample site	纬度 Latitude	经度 Longitude	N	P	K	取样面积 Sample area (row)	取样方法 Sample method (row * m)
HX-2	48°11'21"	127°02'05"	338	35.3	251.73	60	20 * 50
HX-3	48°11'20"	127°02'07"	342	34.9	202.34	60	20 * 50
HX-4	48°11'19"	127°02'09"	411	36.5	453.96	60	20 * 50
HX-5	48°11'18"	127°02'10"	436	34.6	266.56	60	20 * 50
...

2 基于 GIS 的处方图生成理论

2.1 Kriging 插值法

Kriging 插值法又称空间局部插值法,是在变异函数空间分析基础上,对有限区域内域化变量进行无偏最优估计的一种方法。其实质是利用区域化变量的原始数据和变异函数的结构特点,对未知样点进行线性无偏、最优估计。Kriging 法分为普通 Kriging 和泛 Kriging,要求数学期望为 0(估计值与实际值之差的平方和最小)。

Kriging 估值是通过分析基于土壤特性的空间关系分析即半方差分析,对未测点参数值进行最优估计。其思想为设 x_0 为未观测的需要估值的点, x_1, x_2, \dots, x_N 为其周围的观测点,观测值相应为 $y(x_1), y(x_2), \dots, y(x_N)$ 。未测点的估值记为 $\tilde{y}(x_0)$,它由相邻观测点的已知观测值加权取和求得:

$$\tilde{y}(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i y(x_i) \quad (1)$$

其中, λ_i 为待定加权系数。

127°03'01"的第二作业区进行试验。以地号为 4~6 号的第 187 条垄为基准向下 60 垄为取样区域,其中每隔 20 垄设一条取样纵轴,共 4 条纵轴,在垄延伸方向每 50 m 设一条横轴,两轴相交点为取样点,本试验共计 120 个取样点,其中常规农业取点 20 个,取样深度平均 20 cm。

1.2 土壤采样及分析

土壤养分空间分布图的精确性跟许多因素有关,如采样方式、采样密度、插值方法等。本文采用拟合程度高的 Kriging 插值法^[9-10]研究土壤养分空间变异。

通过对黑龙江红星农场 2012 年试验地段的土壤进行采样,共收集样本 120 个,基本满足分析要求。采用传统的实验室土壤化学分析,获得土壤氮磷钾含量(表 1)。

与以往各种内插法不同, Kriging 内插法是根据无偏估计和方差最小两项要求来确定式(1)中的加权系数 λ_i 的,故称为最优内插法。

设估值点的真值为 $y(x_0)$, 由于土壤特性空间变异性的存在, $y(x_i)$ 以及 $\tilde{y}(x_0), y(x_0)$ 均可视为随机变量。当为无偏估计时,

$$E[\tilde{y}(x_0) - y(x_0)] = 0 \quad (2)$$

将式(1)代入式(2),应有

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (3)$$

估值 $\tilde{y}(x_0)$ 和真值 $y(x_0)$ 之差的方差应最小。即

$$D[\tilde{y}(x_0) - y(x_0)] = \min \quad (4)$$

利用式(2),经推导方差 $D[\tilde{y}(x_0) - y(x_0)] = \min$ 为

$$D[\tilde{y}(x_0) - y(x_0)] = - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i, x_j) + 2 \sum_{i=1}^N \lambda_i \gamma(x_i, x_0) \quad (5)$$

式中, $\gamma(x_i, x_j)$ 表示以 x_i 和 x_j 两点间的距离作为间距 h 时参数的半方差值, $\gamma(x_i, x_0)$ 则是以 x_i 和 x_0 两点之间的距离作为间距 h 时参数的半方差值。观测点和估值点的位置是已知的, 相互间的距离业已知, 只要有所求参数的半方差 $\gamma(h)$ 图, 便可求得各个 $\gamma(x_i, x_j)$ 和 $\gamma(x_i, x_0)$ 值。

因此, 确定式(1)中各加权系数的问题, 就是在满足式(3)的约束条件下, 求目标函数以式(4)表示的方差为最小值的优化问题。求解时可采用拉格朗日法, 为此构造一函数 $\varphi(\sum \lambda_i - 1) = 0$, φ 为待定的拉格朗日算子。由此, 可导出优化问题的解应满足:

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j \gamma(x_i, x_j) + \varphi = \gamma(x_i, x_0), \quad i=1, 2, \dots, N \quad (6)$$

由式(6)和式(3)组成 $n+1$ 阶线性方程组, 求解此线性方程组便可得到 n 个加权系数 λ_i 和拉格朗日算子 φ 。该线性方程组可用矩阵形式表示:

$$\begin{cases} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \cdots & \gamma_{1N} & 1 \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \cdots & \gamma_{2N} & 1 \\ \cdots & & & & \\ \gamma_{N1} & \gamma_{N2} & \cdots & \gamma_{NN} & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 & 0 \end{cases} \begin{cases} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_N \\ \varphi \end{cases} = \begin{cases} \gamma_{10} \\ \gamma_{20} \\ \vdots \\ \gamma_{N0} \\ 1 \end{cases} \quad (7)$$

式中, γ_{ij} 为 $\gamma(x_i, x_j)$ 的简写。求得各 λ_i 值和 φ 值后, 由式(1)便可得出 x_0 点的最优估值 $y(x_0)$ 。

2.2 土壤养分分布图

利用 Kriging 插值法对未测数据点进行最优内插值后进行 ArcGIS Desktop 绘图, 获得了各养分含量在田间的空间变化图, 所测区域 N、P、K 养分含量示意图分别由如图 1 至图 3 所示。

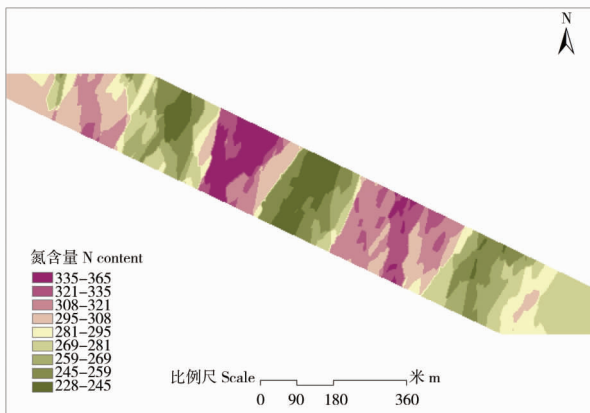


图 1 所测区域 N 养分含量示意图
Fig. 1 Schematic figure of N nutrient content in measured area

从图 1 来看, 土壤中 N 元素含量非常不均匀, 明显呈条状分布, 如果采用传统均一施肥方式, 会造成肥料的浪费。

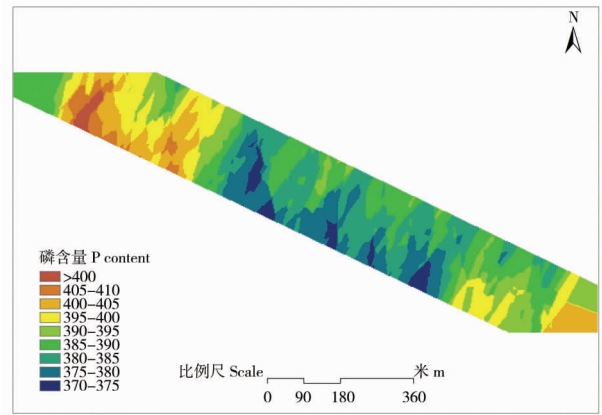


图 2 所测区域 P 养分含量示意图
Fig. 2 Schematic figure of P nutrient content in measured area

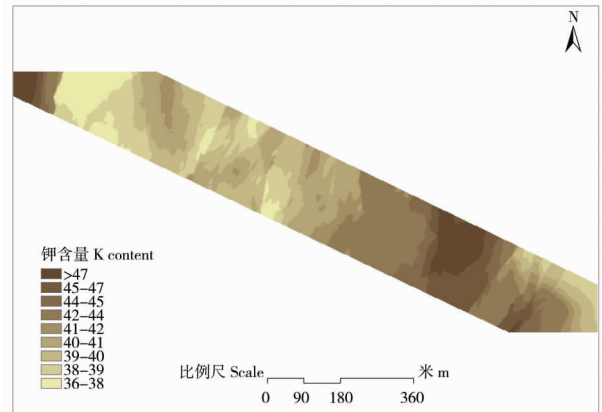


图 3 所测区域 K 养分含量示意图
Fig. 3 Schematic figure of K nutrient content in measured area

3 处方图生成

精准施肥处方图的作业是在 ArcGIS Desktop 中生成, 它是利用内嵌的空间分析模块进行插值分析。因为距离权重倒数插值和样条法插值是确定性的插值方法, 他们是直接基于周围已知点的值进行计算或是用指定的数学公式来决定输出表面的平滑度的插值方法。能够预测出未知点的数据值。具体公式和处方生成方法如下:

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (8)$$

其中, $Z(s_i)$ 是已测得的第 i 个位置的值; λ_i 是在第 i 个位置上测得值的未知的权重; s_0 是预测的位置; N 是已知点(已测得值的点)的数目。

在 ArcGIS Desktop 平台下,首先利用克里格插值生成一个表面,即单击 Spatial Analyst 模块,选择 Interpolated Raster 并单击 Kriging。单击 Input points 加入的点数据集。添加字段后选择需要的克里格方法。有两种可供选择的方法可变搜索半径的克里格插值和固定搜索半径的克里格插值。在 Semi-variogram model 中选择使用的模型。

然后对生成的栅格数据重分类。即在 Spatial Analyst 模块内选择重分类,在弹出窗口选择分类。修改重分类后的施肥量为合适值,确定后可生成施肥量栅格数据。单击 Spatial Analyst 模块的下拉箭头,选择转换,栅格到要素把栅格数据转换为 .shp 文件。转换后的最终文件就是处方图文件。

4 验证试验

本处方图生成方法于 2011 年在东北农业大学香坊农场选择地势一致相邻两个地块进行了对比试验研究,在作物品种选择、田间管理、收获时间均统一完成,施肥机具选择自制变量施肥机(图 4)。结果变量施肥产量为 $2\ 445\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,比常规施肥($2\ 160\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)增产 13.2%。

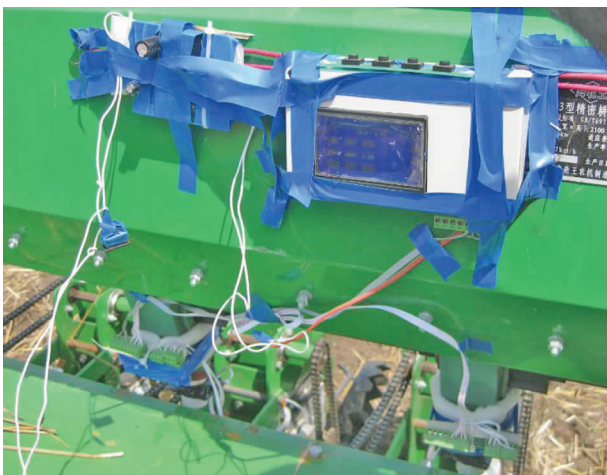


图 4 试验验证实物图

Fig.4 Picture of verification test

5 结论

本研究根据当季土壤中氮磷钾含量,通过 Arc-View GIS Desktop 软件进行土壤养分分析和处理,利用处方图生成模块对当年大豆生产进行变量施肥决策和指导,属于农业生产决策中的短期决策范畴,仅考虑一个生长季内具体的田块和具体的作物。但通过试验表明,该方法能够达到增产节肥的效果。

参考文献

- [1] 苑严伟,张小超,张银桥,等. 农田粮食产量分布信息数字化研究[J]. 农业工程学报,2006,22(9):133-138. (Yuan Y W, Zhang X C, Zhang Y Q, et al. Digitization of grain yield and distribution information in farmland [J]. Transactions of the CSAE, 2006,22(9):133-138.)
- [2] 张金娣. 基于步进电机的自动变量施肥系统研究[D]. 昆明: 昆明理工大学,2010. (Zhang J D. The automatic variable fertilization system based on the stepper motor[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2010.)
- [3] 张书慧,马成林,吴才聪,等. 地理信息系统在精确农业变量施肥中的应用[J]. 农业机械学报,2003,34(3):92-96. (Zhang S H, Ma C L, Wu C C, et al. Application of GIS to variable rate fertilization in precision agriculture [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003,34(3):92-96.)
- [4] 蒋阿宁,黄文江,赵春江,等. 基于光谱指数的变量施肥对冬小麦产量构成的影响及其效益分析[J]. 麦类作物学报,2007,27(1):122-126. (Jiang A N, Huang W J, Zhao C J, et al. Effect of variable nitrogen application based on spectral index on winter wheat grain yield and economic benefits [J]. Journal of Triticeae Crops, 2007,27(1):122-126.)
- [5] 李志宏,刘宏斌,张云贵. 叶绿素仪在氮肥推荐中的应用研究进展[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(1):125-132. (Li Z H, Liu H B, Zhang Y G. A review on chlorophyll meter application on nitrogen fertilizer recommendation [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006,12(1):125-132.)
- [6] 蒋阿宁. 基于多源数据的冬小麦变量施肥研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学,2007. (Jiang A N. Study on variable-rate fertilization in winter wheat based on multi-sources data [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2007.)
- [7] 薛绪掌,陈立平,孙治贵,等. 基于土壤肥力与目标产量的冬小麦变量施肥及其效果[J]. 农业工程学报,2002,20(3):59-63. (Xue X Z, Chen L P, Sun Z G, et al. Results of variable-rate nitrogen fertilization of winter wheat based on soil fertility and yield map [J]. Transactions of the CSAE, 2002,20(3):59-63.)
- [8] 麻灵,孙红敏,安珺. 综合气候条件的变量施肥决策支持系统研究[J]. 东北农业大学学报,2012,42(2):65-68. (Ma L, Sun H M, An J. Research on decision support system of variable rate fertilization-composting weather conditions [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2012,42(2):65-68.)
- [9] 张敏,贺鹏飞,陈伟强. 基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异分析[J]. 东北农业大学学报,2010,41(3):53-58. (Zhang M, He P F, Chen W Q. Spatio-temporal variability analysis of soil nutrients based on GIS and Geostatistics [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2010,41(3):53-58.)
- [10] 苏中滨,陈立平. 基于 MapX 的 Oracle 空间数据处理[J]. 东北农业大学学报,2004,35(4):465-467. (Su Z B, Chen L P. Spatial data processing based on MapX in Oracle [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2004,35(4):465-467.)