

村级农田施肥专家系统设计与应用

刘涛, 李廷轩, 王永东, 张锡洲, 郑子成

(四川农业大学 资源环境学院, 四川 成都 611130)

摘要: [目的] 实现田块尺度的施肥决策和精准施肥, 达到测土配方施肥成果数字化延伸。[方法] 采用 GIS 组件 ArcEngine, 将 GIS、RS、GPS 和农业专家技术进行集成, 以遥感影像为索引, 建立基于农户田块为基本管理单元的触摸屏村级农田施肥专家系统。并以犍为县定文镇炮房村为案例区进行了实际应用。利用四川省 2005—2009 年“3414”试验数据, 结合区域实际, 构建了系统的主要粮油作物推荐施肥模型。[结果] 该系统不但实现了田块尺度的施肥决策和养分管理, 同时还具备农田基本信息、缺素诊断、病虫害防治、政策法规和安全常识等查询功能。[结论] 该系统具有界面友好, 操作简单明了的特点, 并在村级田块尺度上实现了精确施肥。

关键词: 田块尺度; 农田; 施肥; 专家系统

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2015)03-0186-05

中图分类号: S147.2

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.03.040

Design and Application of Fertilization Information System for Farmland of Village Scale

LIU Tao, LI Tingxuan, WANG Yongdong, ZHANG Xizhou, ZHENG Zicheng

(College of Resource and Environmental Science, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130, China)

Abstract: [Objective] To achieve the field scale fertilization decision-making and precise fertilization and attain fertilizer digital extension of the soil testing. [Methods] Practical application with the examples of Paofang village, Dingwen town, Jianwei county as an example by the method of ArcEngine module of GIS to integrate GIS, RS, GPS with agriculture experts technology, with remote sensing image as the index, village scale farmland fertilization expert system of touching screen was developed. By using the experimental data of “3414” in Sichuan Province from 2005 to 2009, on the basis of the facts, fertilization recommendation model of the main grain and oil crops was established for the expert system. [Results] The system not only realized the fertilization decision-making and nutrient management of field scale, but had inquiry function such as the basic farmland information, deficiency diagnosis, pest control, policies and regulations and safety common sense et al. [Conclusion] The fertilization information system achieved the precise fertilization on the field scale, which has the characteristics of friendly interface and simple operation, finally attained fertilizer digital extension for the field scale of villages.

Keywords: field scale; farmland; fertilization; expert system

传统农业生产中, 中国大多数农民主要凭经验施肥, 致使农业生产中存在着增肥不增产、土壤养分大量累积、化肥施用过量、养分利用效率低下和面源污染等问题, 严重地制约着中国农业的可持续发展^[1]。如何提高肥料利用率, 合理施肥, 减少污染, 是目前亟待解决的问题。随着“3S”技术、网络技术、地统计学以及模糊数学方法的发展和应用, 以土壤养分精确管理为目标的施肥信息系统, 已成为土壤科学的研究热点之一^[2-3]。施肥专家系统是利

用现代信息技术, 根据施肥技术的基本原理与方法, 以辅助制定肥料运筹方案为主要目的的计算机软件系统^[4]。系统的应用可以在较大程度上改变施肥随意性大、量化程度差、稳定性和可控程度低的弱点, 其发展水平是施肥技术科学化和现代化的重要标志。国内现有的施肥信息系统虽较多, 管理措施更多的是通过经验来制定, 且系统涉及的区域较大(县级、乡级和片区尺度), 无法实现田块尺度的精确施肥^[5-6]。由于农户的施肥习惯、种植制度等不同, 不同田块肥力差异明显。因此,

收稿日期: 2014-04-13

修回日期: 2014-05-20

资助项目: 四川省教育厅重点项目“基于 WebGIS 的四川省耕地质量管理信息平台的研制”(14ZA0010)

第一作者: 刘涛(1980—), 男(汉族), 四川省江油市人, 硕士, 助研, 主要从事养分资源信息化方面研究。E-mail: 11812717@qq.com。

通信作者: 李廷轩(1966—), 男(汉族), 四川省宣汉县人, 博士, 教授, 主要从事养分资源管理方面研究。E-mail: litinx@263.net。

在了解土壤肥力基本情况基础上,确定不同肥力等级土壤适宜施肥量,方能因地制宜,实时实地指导施肥。

测土配方施肥是通过对土壤有效养分的测定,根据作物需肥的规律、土壤供肥性能以及肥料效应,提出了大、中、微量元素的施用数量、施用时期和施用方法,在一定程度上解决了作物需肥与土壤供肥之间的矛盾,且已构建出了基于“3414”试验的不同生态区作物测土配方施肥指标体系^[7]。由于基于田块尺度的村级施肥专家系统较少,本文以“3S”技术和农业专家知识为依托,以四川省犍为县定文镇炮房村为例,在土壤养分变异、施肥模型、作物缺素和病虫害研究的基础上,利用遥感影像、GIS 组件和面向对象程序语言,采用触摸屏方式,构建基于农户田块为基本管理单元的触摸屏村级施肥专家系统,以实现田块尺度的施肥决策和作物基本管理。这一系统的开发与应用,不仅是测土配方施肥成果数字化的有机延伸,也是创新为农服务的有效方式,对农户田块合理施肥及农业资源高效管理具有重要的现实意义。

1 系统分析与设计

1.1 系统目标

根据水稻、玉米和油菜等主要粮油作物的生理特

性、生长环境及生长特点,结合平衡施肥原理、地理信息系统及专家系统技术^[8],采用 ArcEngine 作为 GIS 组件^[9],通过 Visual Studio 2008 C# 开发出一套信息丰富、功能实用、操作简单的田块级农田施肥专家系统,集成地理信息系统功能、作物施肥模型和专家知识库,为农户田块施肥提供科学、准确的依据。

1.2 需求分析

本专家系统根据“村、组和农户姓名”数据信息,触摸该信息或遥感影像农田田块即可得到该田块的推荐施肥方案,通过触摸“问题咨询”即可得到防治措施的交互式的农田施肥专家系统,因此需要构建操作简单、可靠、规范、直观的系统,确保其实用性。系统可供相关农业管理部门、技术人员以及农户浏览查询使用。

1.3 系统框架与功能设计

系统体系结构采用 GIS, RS, GPS 和数据库技术,依据土壤养分空间变异、作物养分吸收规律、施肥决策模型和专家知识,通过面向对象程序设计,构建具有重用性、扩展性和可更新数据田块尺度的村级农田施肥专家系统^[10-12]。该系统由推荐施肥、缺素诊断、病虫害防治、政策法规和安全常识 5 个模块组成,系统设计框架见图 1。

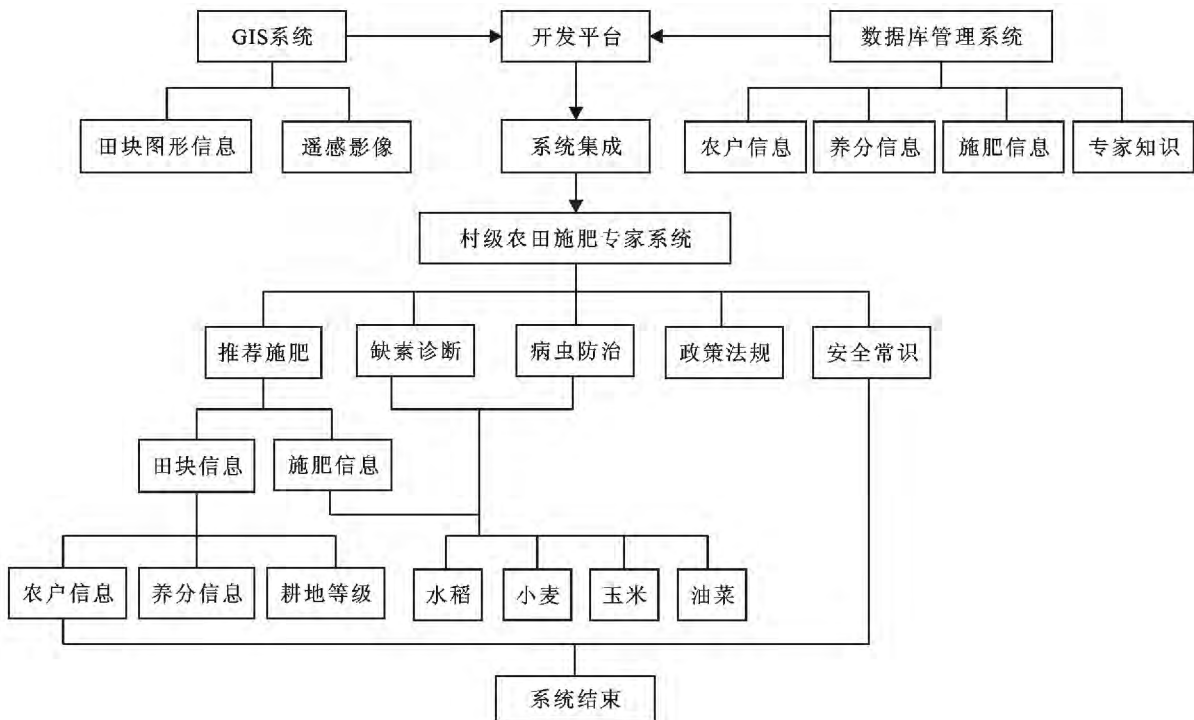


图 1 农田施肥专家系统设计框架

(1) 推荐施肥。以高分辨率的遥感影像为底图,叠加空间施肥数据,采用村、组和农户姓名 3 个层次进行查询,获取单质肥、复合肥推荐施肥方案和农田

基本信息。

(2) 缺素诊断。施肥不平衡或土壤养分供应和植株吸收出现障碍,作物将出现缺素症状。农户通过对

比系统作物缺素症的照片、症状描述和防治措施进行分析诊断,有效指导施肥,矫正植物营养的缺素症状^[13]。

(3) 病虫害防治:作物受气候、水分、土壤和肥料等影响出现病虫害症状。通过对病虫害作物的照片和症状描述,分析作物的病虫害情况,指导农户进行合理的防治^[14]。

(4) 政策法规:用户通过浏览当前农业的政策法规,了解农民的权利和义务,提高农民的法律意识。

(5) 安全常识:介绍农业生产中基本安全常识,了解农产品安全质量、农药残留和农机安全,减少事故发生。

1.4 系统数据库设计

系统数据库采用文件数据库方式进行空间数据和属性数据的存储^[15]。空间数据以农户田块为基本单位,是村级农田施肥专家系统的核心,也是系统与用户交互最为直观的数据,通过 File GeoDataBase 以 Shape 文件格式存储田块、村界和组界的空间信息,同时叠加遥感影像图片,农户可更为方便的找到自己的田块。属性数据库是用户查询的具体表现内容,包括田块养分信息、农户信息、化肥信息库、作物缺素数据库、病虫害防治数据库、农业知识数据库。空间数据库和属性数据库有机的结合,从而更方便的从空数据库或属性数据库进行检索^[16]。

2 系统开发

2.1 系统开发环境与工具

系统在 Windows XP 环境下,用 ArcMap 9.3 进行前期处理,采用 Visual Studio 2008 C# 编程的方式,结合 ArcEngine 9.3 组件进行二次开发,最后进行编译发布。

系统运行要求:CPU 2GHz 以上,内存 2G,硬盘 5G,Windows XP 操作系统。

2.2 系统界面

本系统界面实行左右分栏,左边为菜单栏,右边为内容区。用户通过触摸或鼠标可以对菜单进行点击,内容区则对应相应的内容。

2.3 程序代码

采用 ArcEngine 作为底层开发平台,通过已封装的类库进行应用开发,以下是部分开发代码:

(1) 加载地图。

```
public void LoadMap(string pathMap)
{
    axMapControl.LoadMxFile(pathMap);
}
```

(2) 空间查询地图。

农户通过“村、组和农户姓名”进行查询,实现农户田块空间定位。

```
public void FilterLayer(string where)
{
    IFeatureLayer flyer = (IFeatureLayer) axMapControl1.get_Layer(0);
    IFeatureClass fcls = flyer.FeatureClass;
    IQueryFilter queryFilter = new QueryFilterClass();
    queryFilter.WhereClause = where;
    ZoomToSelectedFeature(flyer, queryFilter); // 缩放到选择结果集,并高亮显示
    IFeatureCursor featureCursor = fcls.Search(queryFilter, true);
    FlashPolygons(featureCursor); // 闪烁选中得图斑
}
```

(3) 显示结果

通过 pFeature.get_Value 方法对田块相应的属性进行查询显示。

```
pFeature.get_Value(pFeature.Fields.FindField(" 农田编号" )). ToString();
pFeature.get_Value(pFeature.Fields.FindField(" 农户名称" )). ToString();
pFeature.get_Value(pFeature.Fields.FindField(" 氮肥用量" )). ToString();
```

3 系统实现

3.1 区域概况

研究区位于四川省乐山市犍为县定文镇炮房村,以丘陵为主,属亚热带湿润气候,年平均气温 17.5℃,无霜期 333 d,年平均降雨量 1 141 mm,年平均日照 957 h。耕地面积 2.8 hm²,主要种植水稻、玉米和油菜。

3.2 数据库的建立

3.2.1 基础数据

(1) 空间数据。以 0.5 m 分辨率的 GeoEye 遥感影像为基础,采用 WGS84 坐标系,栅格数据为 Tif 格式,矢量数据为 Shape 格式。

(2) 属性数据。根据土壤类型、肥力等级和地形等因素,将炮房村施肥区域划分为若干个采样单元,每个采样单元约为 0.67 hm²,且土壤类型基本一致。在作物收获后或播种前采集,每个土样以 1 个取土点为中心,在 10 m 半径内取 5 点混合而成,同时用 GPS (Garmin 72)记录中心点位置。取 0—20 cm 耕层土壤,采样点数量为 163 个,样点分布图见图 2。经过室

内分析得到土壤相应测试数据: pH 值、有机质、全氮、有效磷、速效钾和碱解氮。同时, 通过实地调查, 获得区域内田块土壤类型、种植制度、农户信息等属性资料。

(3) 文字图片数据。作物缺素诊断、病虫害防治、政策法规、安全常识采用图片和文字描述相结合的方法, 存储在数据文件中。

3.2.2 建立田块施肥基本单元 田块施肥单元是施肥决策基本对象, 也是农户查询的最小单元。同一单元具有相对一致的土壤养分、理化性性状和立地条件, 且四周有明显的田埂或道口包围, 一个田块由一位农户承包经营。采用遥感影像解译后生成以实际田块为边界的施肥基本单元, 建立田块编号和农户所在的村和组, 生成农户承包田块图 6 918 个, 达到一个田块对应一个施肥单元的精度, 并以遥感影像为底图, 使农户查询触摸屏时具有真实的空间视觉效果。

通过对 163 个采样点的碱解氮、有效磷和速效钾进行正态分布检验, 对不符分布的数据进行对数转换, 运用 ArcGIS 9.3 地统计模块对采样点进行高斯 Kriging 模型插值分析, 生成碱解氮、有效磷和速效钾的养分图, 然后对田块进行空间赋值, 使每个田块具有土壤养分的属性数据。

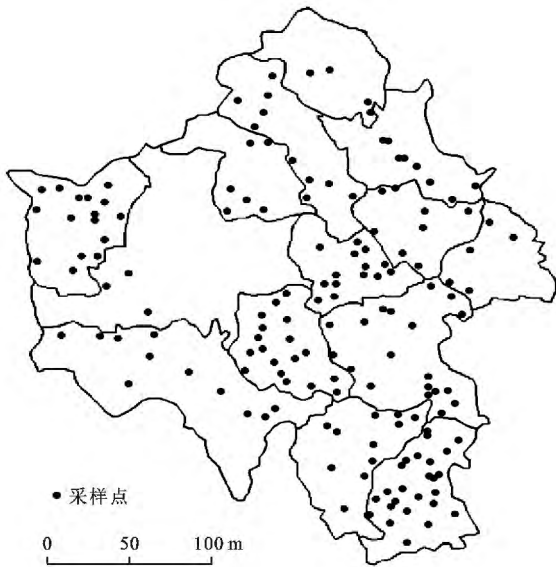


图 2 土壤采样点分布

3.3 施肥模型

根据 2005—2009 年四川省“3414”试验数据, 采用肥料效应函数法和边际效应分析计算主要粮油作物最佳施肥量。肥料效应模型为:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_1^2 + b_3x_2 + b_4x_2^2 + b_5x_3 + b_6x_3^2 + b_7x_1x_2 + b_8x_1x_3 + b_9x_2x_3 \quad (1)$$

式中: y ——籽粒产量 (kg/hm^2); x_1 ——N 用量 (kg/hm^2); x_2 —— P_2O_5 用量 (kg/hm^2); x_3 —— K_2O 用量 (kg/hm^2)。如果上述方程拟合成功 (二次项前系数为负值, 一次项前系数为正值, F 检验显著), 根据边际收益等于边际成本, 即 $dy \cdot y_p = dx \cdot x_p$ 的原则计算经济最佳产量施肥量, 分别以 x_1, x_2 和 x_3 为变量, 对方程两边求导, 得到方程组:

$$b_1 + 2b_2x_1 + b_7x_2 + b_8x_3 = x_{1p}/y_p \quad (2)$$

$$b_3 + 2b_4x_2 + b_7x_1 + b_9x_3 = x_{2p}/y_p \quad (3)$$

$$b_5 + 2b_6x_3 + b_8x_1 + b_9x_2 = x_{3p}/y_p \quad (4)$$

式中: x_{1p}, x_{2p}, x_{3p} 和 y_p 分别为 N, $\text{P}_2\text{O}_5, \text{K}_2\text{O}$ 和粮食价格 ($\text{元}/10^3 \text{ kg}$), 把三元二次方程系数 b_i 值、肥料和粮食价格代入上述方程组, 解方程组即可得到最佳氮、磷、钾肥用量^[17-19]。

再根据试验点计算出的肥料用了, 建立了土壤速效养分含量与最佳施肥量对数模型 (表 1), 所有拟合方程均达到了极显著。然后根据键为县炮房村每个施肥单元土壤测试结果, 计算出每个田块相应作物的推荐施肥量。

表 1 川中丘陵区土壤速效养分含量与最佳施肥量对数模型

作物	养分	拟合方程	相关系数	样本数
水稻	碱解氮	$y = -45.90 \ln x + 348.53$	0.317 3**	460
	有效磷	$y = -23.81 \ln x + 128.94$	0.468 2**	431
	速效钾	$y = -35.74 \ln x + 220.10$	0.365 1**	460
玉米	碱解氮	$y = -74.97 \ln x + 541.51$	0.234 1**	202
	有效磷	$y = -24.72 \ln x + 150.04$	0.319 1**	212
	速效钾	$y = -43.82 \ln x + 262.57$	0.406 3**	212
油菜	碱解氮	$y = -63.93 \ln x + 465.77$	0.344 4**	157
	有效磷	$y = -36.49 \ln x + 167.69$	0.495 0**	170
	速效钾	$y = -31.35 \ln x + 199.50$	0.360 4**	181

注: y 表示最佳施肥量; x 为对应的速效养分含量

3.4 成果输出

农户在触摸屏上点击自己所在的组和姓名或点击遥感影像上所在的田块, 即可查询农田基本信息、推荐施肥、缺素诊断、病虫害防治、政策法规和安全常识等。

(1) 农田基本信息。农田基本信息表主要包括土壤类型、地力等级、种植制度、有机质、有效磷、全氮、速效钾、速效氮和 pH 值等, 同时对田块土壤养分指标能够进行丰缺评价, 评价结果可为农户种植作物的布局 and 施肥提供科学的指导依据。

(2) 推荐施肥。按照水稻、玉米和油菜的施肥模型 (表 1), 计算出每个田块相应作物推荐施肥量。根据单质肥料用量, 系统生成 3 种施肥方案, 一种单质

肥料方案和 2 种复合肥方案,为农户精确施肥提供参考依据。

对比炮房村农田施肥专家系统推荐施肥和农户常规施肥(表 2)发现,在保证作物获得最佳产量的前提下,系统推荐施肥量较农户常规施肥有所减少。其中水稻每公顷 N, P₂O₅, K₂O 用量较常规施肥分别减少 35, 9, 45 kg; 玉米 P₂O₅, K₂O 用量分别减少 9, 45 kg; 油菜 P₂O₅ 用量减少 9 kg。可见,农田施肥专家系统可以在较大程度改善炮房村施肥的现状。

表 2 炮房村常规施肥与专家系统推荐施肥用量 kg/hm²

作物	肥料	常规施肥	系统推荐施肥	肥料减少量
水稻	N	174	139	35
	P ₂ O ₅	85	76	9
	K ₂ O	108	63	45
玉米	N	201	201	0
	P ₂ O ₅	104	95	9
	K ₂ O	108	63	45
油菜	N	181	181	0
	P ₂ O ₅	95	86	9
	K ₂ O	63	63	0

(3) 缺素诊断与病虫害防治。通过各种缺素图片对作物的缺素症状和病虫害进行展示,用文字对症状进行描述并提供防治措施。农户方可根据病症,对应图片进行缺素诊断与病虫害防治。

(4) 政策法规和安全常识。采用文字方式,对政策法规和安全常识进行显示。政策法规主要介绍当前农业的政策法规,了解农民的权利和义务,提高农民的法律意识。安全常识主要介绍农产品安全质量、农药残留和农机安全,减少事故发生。

4 结论

(1) 基于田块尺度的村级农田施肥专家系统,充分利用 ArcEngine 并结合遥感影像,在田块尺度上实现精确施肥。系统具有界面友好,操作简单明了,实用性强等特点,实现了田块尺度的施肥决策和养分管理。该系统已在炮房村进行了初步应用,取得了较好效果。

(2) 该系统应用后,在获得最佳产量的前提下,系统推荐施肥量较农户常规施肥有所减少,但施肥模块还未涉及到与作物养分吸收相关的降雨量、日照、气候、作物品种等因素,有待进一步完善。

[参 考 文 献]

- [1] 张福锁,崔振岭,王激清,等. 中国土壤和植物养分管理现状与改进策略[J]. 植物学报, 2007, 24(6): 687-694.
- [2] 薛利红,杨林章,李刚华. 遥感技术在精确施肥管理中的应用进展[J]. 农业工程学报, 2004, 20(5): 22-26.
- [3] 安凯,谢高地,冷允法. 精准农业农田地理信息系统设计[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(1): 66-69.
- [4] 陈桂芬,王越,王国伟. 玉米精确施肥系统的研究与应用[J]. 吉林农业大学学报, 2006(5): 586-590.
- [5] 陈蓉蓉,周治国,曹卫星,等. 农田精确施肥决策支持系统的设计和实现[J]. 中国农业科学, 2004, 37(4): 516-521.
- [6] 褚进华,马友华,李英杰,等. 触摸屏技术在测土配方施肥中研究和应用[J]. 农业网络信息, 2010(7): 12-15.
- [7] 黄泽林,陈琦,任树友. 四川农田施肥现状评价与对策研究[J]. 西南农业学报, 2008(S): 12-14.
- [8] 廖桂堂,李廷轩,王永东,等. 基于组件式 GIS 的低山茶园施肥信息系统设计及实现[J]. 茶叶科学, 2008, 28(6): 391-400.
- [9] 胡开全. 基于 ArcGIS Engine 的县域配方施肥系统的设计与实现[D]. 武汉:华中农业大学, 2008.
- [10] 刘明辉,沈佐锐,高灵旺,等. 基于 WebGIS 的农业病虫害预测预报专家系统[J]. 农业机械学报, 2009, 40(7): 180-186.
- [11] 孙波,严浩,施建平,等. 基于组件式 GIS 的施肥专家决策支持系统开发和应用[J]. 农业工程学报, 2006, 22(4): 75-79.
- [12] 邱小雷,刘小军,朱艳,等. 基于 Pocket PC 的小麦栽培管理知识模型系统的设计与实现[J]. 农业工程学报, 2007, 23(10): 182-185.
- [13] 周炼清,史舟,王珂,等. 基于 WebGIS 的农业园区水稻施肥推荐系统的研究[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2005, 31(2): 175-179.
- [14] 傅卓军. 水稻病害诊断专家系统的研究与实现[D]. 长沙:湖南农业大学, 2010.
- [15] 熊凯,姜雪,李旭霖,等. 基于 B/S 架构的测土配方施肥计算机辅助决策系统的设计与实现[J]. 中国农学通报, 2010, 26(21): 404-407.
- [16] 单英杰,刘小军,姜海燕,等. 基于 GIS 和模型的种植系统设计[J]. 农业工程学报, 2009, 25(2): 145-151.
- [17] Cerrato M E, Blackmer A M. Comparison of models for describing corn yield response to nitrogen fertilizer[J]. Agronomy Journal, 1990, 82(1): 138-143.
- [18] 王圣瑞,陈新平,高祥照,等. “3414”肥料试验模型拟合的探讨[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(4): 409-413.
- [19] 戢林,张锡洲,李廷轩,等. 基于“3414”试验的川中丘陵区水稻测土配方施肥指标体系构建[J]. 中国农业科学, 2011, 44(1): 84-92.