

基于 GIS 的优质小麦变量施肥信息系统研究

苏 伟^{1,2}, 聂宜民², 于振文³, 李 京², 陈云浩²

(1. 山东农业大学资源与环境学院, 泰安 271018; 2 北京师范大学资源学院, 北京 100875; 3 山东农业大学农学院, 泰安 271018)

摘 要: 变量施肥量的确定在优质小麦生产中起着重要的作用, 依据麦田土壤养分空间变异性与小麦的生长特性因地制宜确定施肥量能为小麦优质生产提供施肥决策支持。该文是在施肥推荐中利用 Kriging 插值方法对研究区土壤养分空间变异性进行研究, 解决以往变量施肥系统对土壤养分的供应量存在疑惑的问题; 综合考虑土壤类型、障碍层次等土壤基础信息, 将“氮肥后移”技术写入曲劳与斯坦福公式中进行施肥推荐, 以实现小麦的优质生产。详细阐述了土壤养分空间变异分析和变量施肥推荐两个关键技术。

关键词: 地理信息系统; 地理统计分析; 空间变异性; 氮肥后移

中图分类号: S158.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)07-0094-05

苏 伟, 聂宜民, 于振文, 等 基于 GIS 的优质小麦变量施肥信息系统研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(7): 94-98

Su Wei, Nie Yinmin, Yu Zhenwen, et al GIS based high-quality wheat variable rate fertilizing information system [J].

Transactions of the CSAE, 2005, 21(7): 94-98 (in Chinese with English abstract)

0 引言

变量施肥技术 (Variable Rate Fertilizing Technique, VRFT) 是精准农业 (Precision Agriculture, PA) 技术体系的精髓, 在考察土壤养分空间变异性的基础上, 实行“按需投入”, 改变传统施肥的均匀投入为变量投入, 避免化肥的过量投入造成污染, 提高作物的产量和品质, 实现农业的可持续发展。中国农业科学院土壤肥料研究所建立了包括中国 31 个省 2370 个县的土壤肥力状况及肥料与养分资源利用状况的土壤肥料信息系统 (SOFISC), 可以用于不同层次的土壤肥料信息的查询统计, 以及作物施肥决策等^[1], 该系统土壤养分状况研究的面积较大, 适用于宏观管理部门, 但不适于较小尺度即具体条田上的施肥推荐; 南京农业大学资源与环境学院开发研制了江苏省大丰市土壤信息管理及其施肥决策支持系统^[2]; 新疆兵团农七师 125 团为例, 进行了基于 GIS 的土壤肥力信息管理及棉花施肥推荐支持决策系统研究^[3]。本文进行了基于 GIS 的优质小麦变量施肥决策信息系统研究, 根据研究区养分变异的不同设置了不同的土壤采样精度, 以适应于不同的推荐施肥尺度; 运用 GIS 软件 ArcView 8.3 的地理统计分析 (Geostatistics Analyst, GA) 扩展模块对化验的土壤养分含量进行 Kriging 插值分析, 通过周围土壤采样点养分状况推测出中间未采样点的土壤养分状况, 得出每一操作单元的土壤养分含量, 从而考察土壤养分的空间变异性, 为施肥决策提供依据。

20 世纪 70 年代以来, 中国在小麦产量、抗性等方面已取得了突破性的进展^[5]。但是由于农业发展环境的限制与单纯追求产量提高, 小麦优质生产是一个十分薄弱的环节, 生产的小麦绝大多数为品质一般、中间等级的小麦, 世界上发达国家的优质小麦生产给中国小麦的质量与价格带来了压力。针对这种情况, 本系统在利用上述技术获得土壤养分空间变异规律的基础上, 运用曲劳与斯坦福公式, 将对肥料因子中具有调控意义的氮肥因素研究成果——“氮肥后移”技术^[6]引入到配方施肥量计算模型中, 根据经 GIS 空间分析得到的土壤肥力等级结果确定合理的肥料基施与追施比例, 提供优质小麦生产的变量施肥推荐方案。

1 系统设计

1.1 系统目标

本系统是 GIS 技术、优质小麦生产“氮肥后移”技术、地统计学、数据库系统在优质小麦施肥推荐方面的综合运用。“氮肥后移”技术根据小麦生长的生物学特性与实际的地力水平状况, 将追氮时间和追氮比例推迟, 根据具体品种优化湿面筋含量、面团稳定时间与沉降值等指标, 以提高其生产品质。通过系统的土壤信息叠加功能按照因缺补缺的原则制订合理的施肥方案, 既能够满足小麦生长的各种需要, 又不因施肥过量而对环境造成污染。

1.2 系统总体结构

使用 GIS 软件进行土壤养分空间变异性分析, 将土壤各专题数据组合在一起, 形成新的数据集; 在 VBA 开发环境中, 利用曲劳与斯坦福公式将“氮肥后移”技术应用到优质小麦施肥推荐中, 最后提供推荐施肥决策结果专题图。系统体系结构如图 1 所示, 整个系统运行的数据基础是土壤信息库、小麦信息库、肥料信息库、元数据等, 依托 ArcView 8.3 的桌面产品 ArcMap、GA 扩展模块、VBA 开发环境^[7,8], 用户的使用窗口是政府决策

收稿日期: 2004-10-10 修订日期: 2005-04-03

基金项目: 国家科技部科技攻关项目 (2002BA516A12)

作者简介: 苏 伟 (1979-), 女, 山东滕州人, 博士生, 主要从事遥感与地理信息系统应用方面的研究。泰安 山东农业大学资源与环境学院, 271018, Email: suwei@ires.cn

通讯作者: 于振文, 泰安市 山东农业大学农学院, 271018,

Email: yuzw@sdau.edu.cn

和农民窗口施肥决策模块。

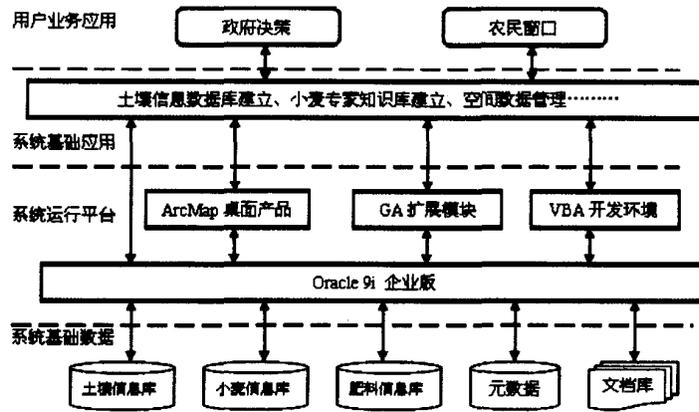


图 1 基于 GIS 的优质小麦变量施肥信息系统

Fig 1 High-quality wheat variable fertilizing information system based on GIS

1.3 系统实现

系统软件开发基础是 Windows 2000 Server 操作系统, 图形显示平台为美国 ESRI 公司 GIS 软件 ArcView 8.3。本文以山东省桓台县科技示范区为例, 优质小麦变量施肥决策信息系统有 4 个功能模块组成: 土壤信息模块、小麦专业知识模块、空间分析模块、施肥决策模块, 其功能结构图如图 2。

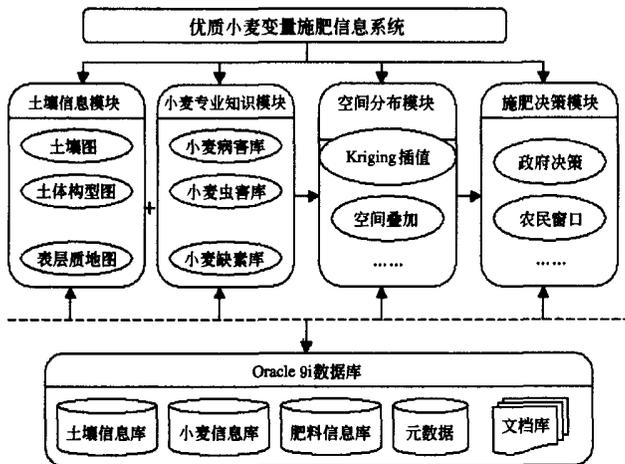


图 2 系统功能结构图

Fig 2 Function structure diagram of the system

土壤信息模块提供试验区土壤类型、表层质地、土体构型、地形地貌等土壤专题数据, 为施肥推荐提供区域内除肥力以外的生产性状的情况, 是试验区土壤养分空间变异状况分析和空间叠加运算的基础; 小麦专业知识模块提供小麦缺素、病害、虫害方面的专业知识, 对试验区小麦进行营养诊断; 空间分析模块实现土壤养分的空间变异性分析, 包括空间插值和叠加分析两个功能, 这两个功能也是 GIS 得以在土壤研究中广泛应用的原因之一^[9]; 针对政府和农民两类用户, 系统设置了政府决策和农民窗口两个用户窗口, 提供了传统施肥、厂家配方、数学模型、经济配方 4 个施肥推荐功能模块, 用户

可以根据自己的实际情况与目的选择合适的推荐施肥模块进行施肥推荐。

1.4 系统关键技术

1.4.1 土壤养分空间变异分析

试验证明同一地块内各处土壤养分含量存在差异^[10], 必须进行土壤养分的空间变异性分析, 由空间分析模块来完成, 是施肥决策的关键性准备工作。

1) Kriging 插值分析

Kriging 插值运算理论模型为半方差函数, 系统提供了 11 种插值方法可供用户进行选择。Kriging 插值分析中的模型拟合工作需要人为控制, 根据研究区的土壤养分空间变异状况, 运用数据检查工具找出数据特点 (比如是否为正态分布, 有没有趋势效应, 各向异性情况等), 依据数据分析结果进行相应的数据转换^[11], 计算出 $Y(h) \sim h$ 的散点图, 分别用不同类型的模型进行拟合, 并确定最佳的拟合参数。模型选择与参数设置的合适与否是通过系统的拟合参数 RM S 均方根预测误差、ASE 标准均误差、MS 预测误差的均值、RM SS 标准均方根预测误差的大小来衡量的。拟合结果的比较是系统自动进行的, 对于所有的已知土壤养分含量的土壤采样点, 假设其养分含量未知, 通过周围其他已知土壤采样点的养分数据, 按照用户选择的模型及其拟合参数进行插值分析, 来推测该点上的土壤养分含量, 最后将测量值和估计值进行比较, 估计误差最小的就是最合适的插值模型。

2) 空间叠加运算

小麦生长是各环境因素综合作用的结果, 空间叠加运算就是针对相同位置上的每一个操作单元, 将其土壤养分含量、土壤类型、土壤质地状况、土体构型状况、灌溉条件等进行等级划分或者量化, 其结果为施肥决策提供基础数据。这些参数来源于系统中的各个基础图层 (如研究区的土壤图、土壤质地图、土体构型图、灌溉设施图件等), 编写代码提取其属性值作为数据运算的参数值。

1.4.2 变量施肥决策

通过空间叠加运算形成新的数据集,包括了所有基础图件的土壤信息,为施肥推荐提供实时、全方位的基础资料。根据本系统两种不同的用户(政府和农民),该模块通过传统施肥、厂家配方、数学模型、经济配方4个施肥推荐对话框提供了两种空间分析运算机制,其插值结果单元因而不同。面向政府的宏观决策需要,系统提供将全县的麦田养分分为5个等级的结果,而对于农民用户则提供基于每一个上图面积大小的养分结果,其算法就是根据实际情况控制插值 grid 网格的大小,在每一个上图面积范围内求取各 grid 点的均值、中值或众数作为该面积内的土壤养分值。运用上述代码分别获得土壤养分含量、土壤类型、土壤质地状况、土体构型等参数,运用 if 条件语句进行判断,提取经过插值运算和叠加分析得到的试验区土壤养分含量值,引入曲劳与斯坦福公式中,参照用户的产量限制,以“氮肥后移”技术为导向,给用户科学、合理的施肥推荐。“氮肥后移”新施肥技术是:在中等肥力地块上基施 1/2 的氮同时追施 1/2 的氮(追施的时间后移)、在高等肥力地块上基施 1/3 的氮同时追施 2/3 的氮,以提高强筋小麦的品质。这种变量施肥技术充分考虑了小麦的生长特性,“按需投入”,可以减少施肥对土壤环境造成的污染。厂家配方施肥模块是针对特定试验区的,化肥厂根据其养分状况设计几种氮、磷、钾不同配比的肥料,用户根据自己的查询或者测试结果选择合适类型的肥料,该方法还在试行调整阶段。数学模型推荐施肥模块提供了地力差减法、有效养分校正系数法两种算法^[12],所使用的曲劳与斯坦福公式表达如下:

$$\text{施肥量}(\text{kg}/\text{亩}) = (\text{单位产量所需养分量} \times \text{目标产量} - \text{土壤养分检测值} \times \text{土壤养分校正系数}) / (\text{肥料养分含量} \times \text{养分利用率})$$

上式中,施肥量是推荐给用户的最后结果,需要用用户输入的只是目标产量,单位产量所需养分量是根据用户输入的目标产量调用小麦信息库中的数据,土壤养分检测值是通过系统代码提取插值分析结果值,根据土壤养分检测值从土壤信息库中选取合适的土壤养分校正数据。

1.5 系统技术特点

1) 运用 GIS 技术进行小麦变量施肥推荐,用户可以对土壤养分空间数据按照地理坐标或空间位置进行各种分析处理,对数据进行有效管理,通过综合分析得出各空间因素间的相互关系,优于传统的 MIS。

2) 地理统计分析功能的实现,使系统可以得到实时、准确的土壤测定值,这样得到的推荐施肥结果更科学、合理。传统的土壤养分调查面临采样点多既费钱又困难及采样点少又没有代表性的难题,利用系统地理统计分析功能可以只从少数几个有代表性的土壤采样点预测其周围的土壤养分状况,从而解决了这一难题。

3) 系统空间分析功能使施肥决策结果更科学。应用系统的合并、空间叠加等空间分析功能,在施肥推荐时更能综合考虑诸如土壤类型、障碍层次、土壤中养分

含量、小麦生长特性等因素,分析出土壤各限制因子对作物的相互作用和相互影响,因地制宜的进行施肥推荐。

2 应用实例

2.1 实验条件

该系统已在山东省淄博市桓台县无公害优质小麦科技示范区内推广使用。研究区属于暖温带大陆性季风气候,年降水量 603.9 mm,蒸发量为年平均 1956.2 mm (1963~1972 年统计数据),全年无霜期 189~207 d,年平均气温 12.5℃,≥10℃ 的平均初终期的积温为 4769.7℃,年平均日照时数 2830.7 h,地势由西南向东北倾斜,最高高程 28 m (黄海高程),最低高程 7 m,形成了南部的剥蚀堆积地貌和北部的堆积地貌类型^[13]。轮作制度为小麦-玉米。

试验区为桓台县 233.35 km² 的大田区和 8.55 km² 的科技示范区,2003 年推广面积 137.35 km²。综合考虑桓台县的地形、地貌、土壤类型状况、土体构型与土地利用状况,采用均匀网格法布置样点,网格长和宽尽量接近,分别按照 400 m × 340 m、200 m × 170 m 的密度设置大田区和示范区土壤采样网格,采用差分式 GPS 定位,每个样点采集 0~20 cm 深度的土样,大田区采集样点 506 个,化验分析 472 个,示范区采样 121 个,化验分析 105 个。土样采集时采用“S”型或者“十”字型求 5 个点的平均值。小麦品种为济南 17、淄麦 12,底肥为氮、磷、钾含量分别为 15%、15%、15% 的三元复合肥,底肥施入时间为播前耕地时间(10 月 1~4 日),底肥类型为有机肥、三元复合肥,追施时间为次年的 3 月下旬至 4 月初。

2.2 测量结果与分析

桓台县土壤肥力较高,各种土壤元素含量有不同的空间变异性,其一般描述性统计方法与结果可查询参考文献[14]、[15]。Kriging 插值分析的过程就是对每组土壤养分数据进行模型拟合、修正和交叉验证确定最佳插值方法的过程,以表 1 土壤碱解氮不同模型拟和检验参数对比表为例说明该过程。系统提供了 11 种 Kriging 插值模型,每种模型对应一组 RM S、A E、M S、RM S S 的值,按照上述的衡量标准不断筛选直至得出最符合实际情况的插值结果,表 2 是试验区土壤养分空间分析比较理想的插值结果。

表 1 土壤碱解氮不同模型拟和检验参数
Table 1 Validation data for soil available N by different models (Avail N)

Kriging 模型	均值 Mean	RMS	ASE	MS	RMSS
Circular	0.0863	11.41	11.83	0.0070	1.001
Spherical	0.0879	11.40	11.89	0.0071	0.959
Tetraspherical	0.0888	11.38	11.85	0.0071	0.962
Pentasperical	0.0895	11.38	11.82	0.0072	0.964
Exponential	0.0981	11.37	11.41	0.0078	0.957
Gaussian	0.0831	11.40	11.93	0.0068	0.964

表 2 山东省桓台县土壤养分空间变异分析拟合参数与结果

养分项目	RMS	ASE	MS	RMSS	分布类型	Kriging 模型
有机质	0.1925	0.1995	0.0072	0.968	对数正态分布	高斯模型
碱解氮	10.86	10.02	0.0068	0.986	正态分布	圆形模型
速效磷	15.52	14.52	0.0181	1.108	正态分布	指数模型
速效钾	34.09	33.35	0.0003	1.022	正态分布	圆形模型

2.3 处方图生成

Kriging 插值分析的目的是生成研究区土壤养分含量等值线图,为系统施肥决策提供基础数据。以土壤碱解氮含量图为例说明处方图生成过程中模型的选择与参数的设定。根据上面的评价标准,对所选择的几种可能的模型类型的评价参数进行比较,得到试验区土壤碱解氮含量分布图。模型评价参数比较结果如表 2,根据其评价标准确定试验区碱解氮含量 Kriging 插值分析模型选择结果为圆形模型,同表 2 的选择结果,土壤碱解氮含量分布图如图 3。从图 3 可见,试验区北部、东部、西部的边界上土壤养分含量较低,东北部和中部地区土壤养分含量中等,城镇西南部土壤条件最好。

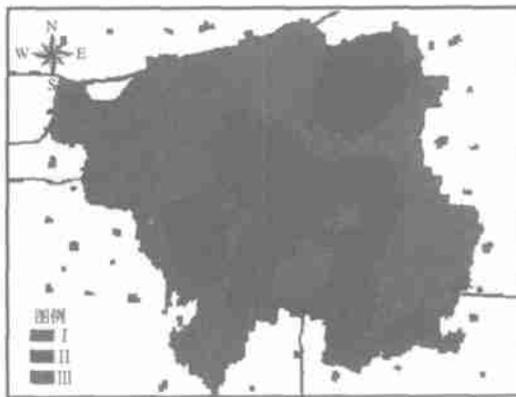


图 3 山东省桓台县土壤碱解氮含量的分布图

Fig 3 Filed contour map of available N in Huantai county of Shandong Province

2.4 系统评价

系统建成后,在试验区科技示范区内进行推广使用。2004 年使用结果表明,用户使用该小麦变量施肥决策信息系统所推荐的施肥结果比以往大田的等量施肥节约化肥用量约 25%,每亩地减少施入氮肥 6 kg,节省成本 17 元,节水 2 次,每亩地节省成本 30 元,试验区全年度小麦生产节省成本 973 万元;另一方面,经系统施肥推荐生产出的强筋小麦,湿面筋含量增加,面团稳定时间增长,品质较为优良,每千克价格提高 0.1 元,因而有望增加产品出口量。实践证明,使用该系统进行施肥推荐可以使小麦生产节本增收,可在更大范围内推广使用。

3 结 论

1) 本系统在试验区优质小麦变量施肥推荐中充分考虑土壤养分的空间变异性,弄清了土壤养分供应量,使小麦施肥可以真正实现“按需投入”;系统的施肥决策模块采用了“氮肥后移”新技术,在减少化肥用量、减少农业投入的同时提高小麦品质、减少施肥对土壤环境造成的污染。

2) Kriging 插值方法适宜于研究土壤养分的空间变异性,可以通过系数的不断修正使预测结果尽可能的接近实际值,其插值结果可以通过 Cross-Validation 交叉验证法和实测法进行验证。将 Kriging 插值方法嵌入 GIS 软件中,使 GIS 同时具有较强的数据管理功能和较强的空间分析功能,能够很好的进行土壤养分的空间变异性研究。

[参 考 文 献]

- [1] 张维理,等. 中国土壤肥料信息系统的研究及其应用[M]. 植物保护与植物营养研究进展. 北京: 中国农业出版社, 1999: 479.
- [2] 潘剑君,等. 土壤信息系统建造以及施肥决策应用研究—以江苏省大丰市为例[M]. 土壤学会论文集[C]. 1999: 240 - 242.
- [3] 吕新,魏亦农,李少昆. 基于 GIS 的土壤肥力信息管理及棉花施肥推荐决策支持系统研究[J]. 中国农业科学, 2002, 35(7): 883- 887.
- [4] 盛建东,文启凯,蒋平安,等. 计算机推荐施肥系统的应用现状、存在的问题及对策[J]. 新疆农业科学, 2001, 38(4): 185- 188.
- [5] 于振文. 作物栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [6] 王月福,姜东,于振文,等. 高低土壤肥力下小麦基肥和追施氮肥的利用效率与增产效应[J]. 作物学报, 29(4): 491- 495.
- [7] ESR I 2002 ArcGIS, GIS by ESR I™.
- [8] ESR I 2002. Getting Started with the Map Control Using Visual Basic, GIS by ESR I™.
- [9] 高峻峰,曹慧. GIS 在土壤空间分析中的应用[J]. 土壤, 2002, 4: 206- 224.
- [10] Malzer G L. Corn yield response variability and potential profitability of site-specific nitrogen management [J]. Better Crop with Plant Food. 1996, 3: 6- 8.
- [11] <http://www.gissky.net>, ArcGIS 地统计扩展模块学习指南.
- [12] 马成林,吴才聪,张书慧,等. 基于数据包络分析和人工神经网络的变量施肥决策方法研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 152- 155.
- [13] <http://www.huantaiwindow.com>, 桓台县概况.
- [14] 雷志栋,杨诗秀,谢森传. 土壤水动力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1988.
- [15] 苏伟,聂宜民,胡晓洁,等. 利用 Kriging 插值方法研究山东龙口北马镇农田土壤养分空间变异[J]. 安徽农业大学学报, 2004, 31(1): 76- 81.

GIS based high-quality wheat variable rate fertilizing information system

Su Wei^{1,2}, Nie Yin², Yu Zhenwen³, Li Jing², Chen Yunhao²

(1. College of Resource and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China;

2. College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

3. College of Agriculture, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

Abstract: The determination of quantity of variable rate fertilizing plays a very important role in the planting of high-quality wheat, which can be made according to spatial variability of soil nutrition and growth characteristic of wheat. This paper deals with the research of wheat variable rate fertilizing information system. The system resolves the problem of the doubt to soil nutrition supply through considering well the spatial variability of it in fertilizing recommendation using Kriging method in GIS. The recommendation of fertilizing quality is made using Postponing Nitrogen technique with mathematics model on the basis of diagnoses in line of professional knowledge database and thinking about soil types and soil barrier layers, etc.

Key words: geographic information system; geostatistics analysis; spatial variability; postponing nitrogen

本刊编辑应邀到黑龙江八一农垦大学交流访问

应黑龙江八一农垦大学工程学院的邀请, 农业工程学报副主编王应宽和顾问编委、特约编审喻谷源教授代表农业工程学报编辑部前往该校交流工作。由于行程安排上的方便, 编辑部一行在东北农业大学作短暂访问, 受到中国农业工程学会副理事长张长利副校长、李文哲院长和工程学院老师的热情接待。在张副校长的陪同下, 参观了工程学院的教学与实验仪器设备, 听取工程学院老师们介绍所取得的丰硕的项目成果。其间拜会了中国工程院院士、本刊顾问编委蒋亦元教授, 参观了院士工作室, 聆听了蒋院士关于目前正在进行的科研工作进展的介绍。王应宽向蒋院士简要汇报了学报的工作, 并邀请蒋院士为学报创刊 20 周年题写贺辞, 蒋院士欣然接受。参观结束后, 与工程学院师生进行了交流座谈。座谈会由工程学院院长李文哲教授主持。王应宽副主编简要介绍学报的近况, 做了关于科技论文撰写特点与投稿技巧方面的报告, 喻谷源教授从审稿的角度总结了科技论文存在的常见问题及改进建议和科技论文的评审标准与重点。交流效果较好, 受到广大师生的欢迎。

编辑部一行随黑龙江八一农垦大学科研处处长张锡志教授和工程学院副院长张伟博士参观了黑龙江垦区的几个大型农场, 主要参观了大型农业机械化设备如联合收获机、大马力拖拉机、插秧机、播种机、机耕犁和耙, 农场科研试验站, 数万亩的大田水稻, 深入地了解了农场的现代化作业与管理模式等。黑龙江是农业大省, 垦区的农业机械化程度很高, 基本代表了中国农业现代化的较高水平。这次参观收获颇丰, 编辑走入田间地头, 实地了解和感受现代化农业生产

与科研情况, 对做好编辑和审稿工作很有帮助。

参观结束后, 编辑部一行来到黑龙江八一农垦大学的大庆新校址。在工程学院书记武华教授的陪同下, 参观了学校的校园和工程学院的实验室。编辑部与工程学院师生进行了近 3 个小时的交流座谈。王应宽副主编简要介绍学报的发展历史、所取得的成绩、被国内外检索系统收录情况以及改月刊后的情况, 做了关于科技论文撰写特点与投稿技巧方面的报告, 着重讲解了农业工程学报的投稿要求, 论文的中英文摘要、引言与结论的写作和参考文献的著录要求等。喻谷源教授总结了科技论文文体类型、特点以及不同文体论文的写作要领; 然后从审稿的角度总结了科技论文存在的常见问题及改进建议和哪些文章可以通过专家审稿。由于此前与该校师生联系不多, 系本刊新作者单位, 这次交流气氛非常热烈, 达到相互了解, 增进友谊, 促进合作的初衷。这次讲座与交流, 帮助部分师生克服了因为不了解而产生的“门槛”心理, 大大地鼓舞了师生撰写论文和给本刊投稿的热情, 受到广大师生的欢迎。

通过这次交流访问, 编辑了解到许多新的科研课题和前沿动态信息, 实地参观了一些先进的教学实验仪器和大型农业机械化生产设备, 加深了对某些新知识和技术的感性认识; 同时, 加强了与广大一线科研工作者的联系, 见到了老朋友, 又结识了许多新朋友, 加深了了解, 增进了友谊。这些对扩大本刊作者群, 吸引优秀稿源, 扩充审稿专家队伍, 加强与高等院校师生的交流与合作等均大有裨益。

(王应宽)