

# 精准农业技术系统集成在新疆棉花种植中的应用

孙 莉<sup>1</sup>, 张 清<sup>1</sup>, 陈 曦<sup>1</sup>, 王 军<sup>2</sup>, 包安明<sup>1</sup>, 张 斌<sup>2</sup>

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2 新疆石河子科学技术委员会, 石河子 832000)

**摘 要:** 根据新疆生产建设兵团农业机械化、集约化、规模化生产的特点, 结合新疆兵团棉花种植的实际情况和基础条件, 利用 GIS、RS、GPS、ES、MS 等最新技术在棉花精准种植试验区开展研究工作。跟踪国内外精准农业的最新研究发展水平, 在数字农业技术创新的基础上, 整合国内已有的研究成果, 利用信息技术对新疆现有的农业生产设备进行组装配套, 研制开发、集成具有新疆特色的数字农业技术体系与推广模式, 进行规模化应用示范。在农田信息采集、处理和实施系统 3 个方面进行棉花精准种植信息系统集成研究, 取得了初步成果: 利用自主开发与引进的硬件平台, 组装集成的配套技术体系, 在棉花的精准播种、节水灌溉、变量施肥、病虫害预测预报与防治、长势监测等产前、产中管理决策中应用, 形成一套适宜新疆的先进成熟的棉花生产管理智能化决策系统, 同时与变量作业机具组装配套进行示范, 该成果可为新疆及其它地区棉花精准种植提供参考模式, 具有重大的推广意义, 市场前景广阔。

**关键词:** 棉花; 精准种植; 系统集成; 新疆

**中图分类号:** S126

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2005)08-0083-06

孙 莉, 张 清, 陈 曦, 等. 精准农业技术系统集成在新疆棉花种植中的应用[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 83- 88

Sun L i, Zhang Q ing, Chen X i, et al. Application of the integrated precision farming system of cotton growing in Xinjiang Region[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(8): 83- 88 (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

精准农业从 20 世纪 90 年代开始在发达国家兴起, 目前已成为一种普遍趋势, 英美法德等国家纷纷采用先进的生物、化工乃至航天技术使精准农业更加“精准”。美国把曾在海湾战争中运用过的卫星定位系统应用于农业。它通过卫星或机载遥感及传感器连续数据采集, 实时获取田间生态环境和作物长势等信息, 通过智能型农业专家系统分析处理后提出精确变率播种、施肥、灌溉、喷药等措施, 再通过电子地图与 GPS 定位指挥农业机具自动进行农事操作, 达到根据特定地块的作物潜在生产能力控制不同投入水平的目的, 使农业生产向智能化、精准化、数字化和工厂化方向发展, 提高农业生产的可控程度和稳定性, 走向资源节约、高效利用和持续发展的道路<sup>[2-4]</sup>。

新疆棉花种植面积 1500 万亩, 占全国的 26%, 产量占全国的 36%。尽管近年来农业生产水平以及集约化、机械化、规模化程度不断提高, 但是田间管理与作业(如播种、灌溉、施肥、喷药等)的粗放和盲目性普遍存在, 造成资源浪费, 影响区域生态环境和农产品质量。目前新疆全区的氮肥利用率仅在 30%~50% 之间, 水分利用效率在 0.4~0.7 kg/亩毫米, 远远落后欧美、以色列等发达国家。

因此, 结合新疆兵团在棉花精准种植中实际开发的

系列数字农业技术软件产品, 利用自主开发与引进的硬件平台, 组装集成配套技术体系, 在棉花精准播种、节水灌溉、变量施肥、病虫害预测与防治、长势监测等产前、产中管理决策中应用, 形成适宜新疆的先进成熟的棉花生产管理智能化决策系统, 同时与变量作业机具组装配套进行示范, 具有重大的推广意义, 市场前景广阔<sup>[5]</sup>。

## 1 精准种植信息系统的集成

在实施精准农业过程中, 首先必须获取与作物生长相关的参数, 包括农田本底和作物生长过程中的参数, 如水分状况、肥力状况、酸碱度、病虫害信息等, 然后根据采集的数据生成相应信息处理系统, 最后通过计算机系统按作物的需求进行分析得到变量作业图, 再由智能农机作业, 实现农业生产的变量管理。

棉花精准种植系统应充分收集影响棉花生长、发育和产量的数据, 并把它们空间化, 利用棉花生长、产量模型和专家知识, 生成棉花管理过程中(如施肥、灌溉、除虫等)的农机自动化作业图, 指导智能机械实施作业。

精准种植系统主要由农田信息采集系统、信息处理系统和实施系统构成, 系统集成研究也从这 3 部分入手, 系统结构如图 1 所示。

### 1.1 信息采集系统

1) GPS 定位信息: 一方面将农田信息采集点给予精确定位, 进行基本格网定标(在试验农田内, 每 30 m 进行 GPS 定点, 测得高精度的坐标数据), 输入 GIS。另一方面进行动态 GPS 定位, 它是农机作业轨迹的依据, 其根据 GIS 提供的农田电子地图经纬度范围(也可用坐标表示), 利用农机上的 GPS 天线, 每 0.5 s 接收一组 GPS 定位数据, 通过 GV G 软件, 将农机实际行动轨迹显示在电子地图上; 同时还可依据农业信息采集系统和专家系统提供的农机作业路线及变更作业方式的空间

收稿日期: 2004-11-03 修订日期: 2005-05-11

基金项目: 国家 863 计划“数字农业”专项(2003AA 209091); 中国科学院知识创新项目(K2CX2-404-4)

作者简介: 孙 莉(1958-), 女, 副研究员, 主要研究方向为 RS 与 GIS。乌鲁木齐市北京南路 40 号附 3 号 中国科学院新疆生态与地理研究所, 830011。Email: lisun6163@sina.com.cn

位置(给定坐标 X、Y 值内),使农机自动完成耕地、播种、施肥、中耕、灭虫、灌溉、收获等工作的控制。

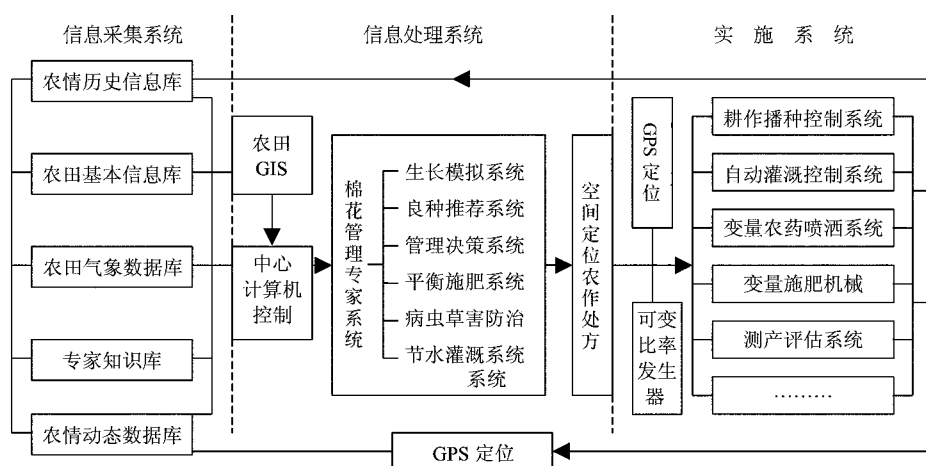


图1 精准农业生产过程的控制与信息处理框架

Fig 1 Outline of the control of production process and information management for precision farming

2) 农田地理信息: 主要包括田块边界信息和田块属性信息,如按地形、地貌、土壤质地,划分土壤类型,按照土壤有机质、全氮、碱解氮、速效氮、速效钾及主要微量元素的含量划分为高、较高、中等、较低、低等5个等级<sup>[6]</sup>。只有在充分了解和掌握各种农田地理信息的基础上,形成准确反映参数的空间分布和农田空间信息的地理图形。

3) 农业生产信息: 其对于了解作物播种前的农田的本底数据及作物生长过程中的环境状况具有重要意义。通过田间取样及其衍生数据,可知适宜的作物品种及种植过程中是否需要某种管理措施(如施肥、灌水等)以及所需要的量。

农业生产信息包括:

品种知识信息: 包括品种的类型、生态适应性、综合农艺性、抗病性、品质、产量等主要知识。同时还包括根据不同气象年型、地温、墒情、品种特性,确定适宜播期及合理的播种密度。

作物营养与施肥信息: 根据不同土质和地力基础可能拥有的生产潜力,棉花不同生育阶段和不同苗情及需肥特点,土壤肥力水平和目标产量确定施肥数量、元素配比和施肥方法、不同生育期的营养现状与施肥、施肥期元素配比关系<sup>[7]</sup>。

作物需水信息: 根据棉花不同生育阶段和田间灌水原理,不同土壤水分状态对棉花发育的影响,不同生育时期棉花对水分的需求,确定灌溉时间、水量及田间耕作措施<sup>[8]</sup>。

化学调控信息: 包括棉花不同生长发育阶段的植株形态指标,根据这些信息可以确定棉花化控、生长促进化学物质的使用时间、次数、剂量和方法。

综合防治信息: 通过分析可找出不同地区棉花病虫害类型、阶段、分布及规模,草害的种类、分布及密度,提出防治对策,建议使用的药剂的种类和使用方法<sup>[9]</sup>。

4) 农田气象信息: 收集地区气象局近30年的气象资料,包括经纬度、海拔、日照强度、日平均温度、最高、最低温度、有效积温、降水量、开春期、初霜期、终霜期、无霜期、地温等数据项,分析各数据库对棉花生长发育及产量的影响,把不同年度归纳成常年、冷年、暖年3种类型。

5) 作物长势信息: 是实施精准农业需要获取的重要信息。遥感是精准农业田间信息获取的关键技术,利用遥感和遥测技术,同时结合田间信息,在棉花生长的一些关键期(如苗期、蕾期、花期、花铃期、吐絮期)对其长势进行监测,由这些长势信息及其它相关信息,可以判断是否需要加强某一方面的措施(如施肥、灌溉、灭虫)。

6) 专家知识: 是制定科学、合理的农作物栽培与管理方案的重要参考。以棉花生产机理、自然环境因素的制约、不同栽培技术措施的综合效应等为依据,以领域专家长期积累的知识经验为主,广泛收取其它科学资料确定知识源。

## 1.2 信息处理系统

### 1.2.1 农田GIS

农田GIS是为棉花精准种植决策提供服务的空间数据平台,为决策准备必要的空间数据<sup>[10]</sup>。建立农田基础信息管理的静态与动态GIS,以研究区农田为基地,建立农田土地管理、土壤数据、自然条件、作物苗情、病虫害发生发展趋势、作物产量等的空间信息数据库和进行空间信息的地理统计处理、图形转换与表达等,可实现基本地理信息系统功能如图形和属性编辑、视图控制、综合查询、空间分析、产量图、养分图生成与分析、坐标变换等,为分析差异性和实施调控提供处方决策方案<sup>[11]</sup>。

图2是平衡施肥WebGIS专家系统的总体结构图,该系统实际是利用处理后的卫星遥感图像信息作为原始数据,将WebGIS技术溶合到专家系统中,拓宽专家

系统的适用范围。目标是利用 Java 技术开发一个集地理地图处理, 智能化推理决策, 网络化浏览于一体的基于 WWW 的平衡施肥 WebGIS 专家系统平台, 将 WebGIS 技术, 数据库技术, WWW 技术应用于农业生产, 指导用户如何平衡施肥, 并提供良好的用户界面, 科学指导生产, 产生实际的经济效益。系统内容涉及条田土壤养分与肥料信息的管理, 条田推荐施肥量计算及施肥方法的描述, 图形数据与属性数据的匹配查询等。本

系统主要包括测土属性数据管理模块, 测土图形信息管理模块, 推荐施肥决策向导模块, 土壤养分与肥料信息统计模块, 肥料试验回归分析模块, 作物缺素症状浏览模块等。

### 1.2.2 专家系统

专家系统是以农田信息、专家知识和农田 GIS 为基础而建立的, 解决棉花种植、管理过程中所遇到的一些复杂的、非定量化的问题提供专家支持。专家系统结构图如图 3。

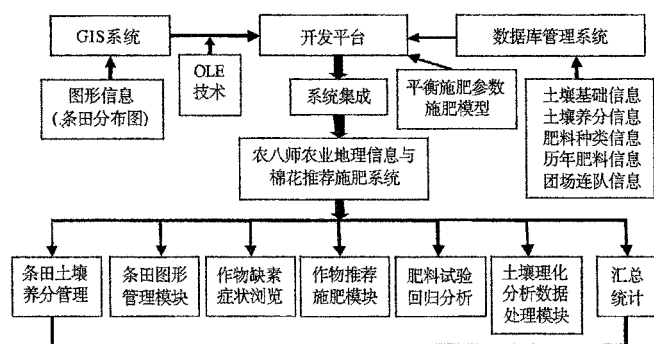


图 2 平衡施肥 WebGIS 专家系统总体结构图

Fig 2 WebGIS expert system overall configuration of balance fertilization

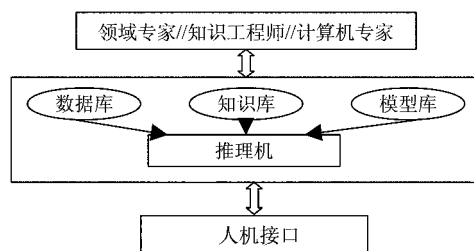


图 3 专家系统结构图

Fig 3 Configuration map of expert system

棉花专家系统由良种推荐子系统、平衡施肥子系统、病虫草害防治子系统、生长模拟系统、节水灌溉子系统及管理决策子系统等部分组成, 模块结构功能图 4。

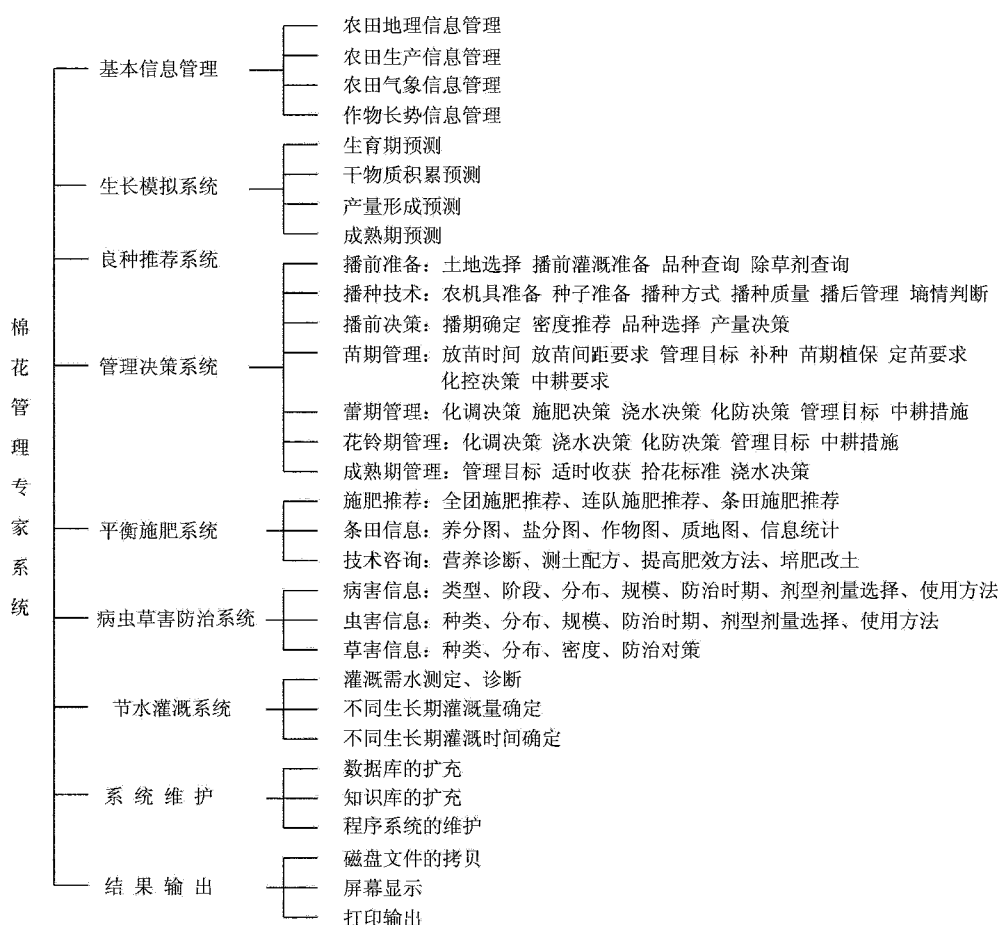


图 4 棉花专家系统模块结构功能图

Fig 4 Construction and function map of cotton expert system

其中涉及到的模型有: 统计模型、生长发育机理模型、营养利用模型、水分利用模型、施肥模型、灌溉模型、个体发展预测模型、个体发展模型、产量预测模型、措施效应模型等。专家系统要与模型系统的结合, 才能产生一套完善的专家决策系统, 现以节水灌溉系统为例, 表述其过程, 如图 5 所示。

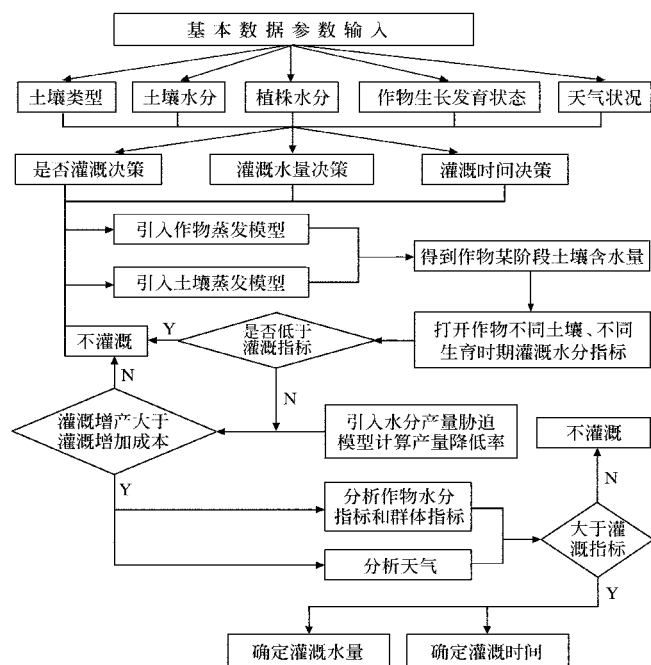


图 5 节水灌溉专家系统知识模型

Fig 5 Expert system knowledge model for water saving irrigation

### 1.2.3 棉花智能决策系统

棉花智能决策系统是在农业专家系统开发平台

PA D3.0 基础上, 根据兵团近年来模式化棉花栽培的经验, 由农业技术专家提供决策方案进行二次开发而成。系统可根据作物、环境、措施三者之间的相互关系和生产目标的需要, 综合考虑和处理产量目标、品种、施肥、灌溉、调控、植保等内容, 可为生产实践提出完善而具体的管理决策方案。

### 1.2.4 GIS 平衡施肥专家系统

图 6 是基于 Internet 的开放分布式平衡施肥 WebGIS 专家系统平台, 该系统是由新疆石河子市高新农业科技服务中心自行研究开发的农业专家系统。该系统发展传统的施肥技术, 将 GIS 技术引入到现代施肥技术领域, 有力地促进了农业施肥技术的改良, 提高农肥的利用率, 减少对环境的污染, 增加了农作物的产量。

系统以处理后的卫星遥感图像信息作为原始数据, 以 Java 作为开发语言, 综合运用数据库、人工智能等技术, 实现了集地图处理、智能化推理决策于一体。系统针对当地土壤肥力、质地类型及气候条件, 依据作物需肥特点, 以条田为单位进行推荐施肥, 包括土壤基础肥力信息库、肥料类型信息库、土壤微量元素信息库、历年肥料应用及产量信息库、施肥参数信息库、图形数据库(以乡为单位), 内容涉及条田土壤养分与肥料信息的管理, 条田推荐施肥量计算及施肥方法的描述, 图形数据与属性数据的匹配查询等。系统利用 GIS 的功能动态绘制了田间土壤有机质、氮、磷、钾等含量专题图; 提供养分平衡法、地力分级法和总养分平衡法 3 种施肥方法; 利用效益分析和统计模块对田间化肥成本进行计算, 分析效益, 并对历年施肥量和土壤养分数据进行分析, 为用户提供决策依据。使用本系统可为农业生产者、管理人员和科技人员提供智能化、形象直观的信息服务。

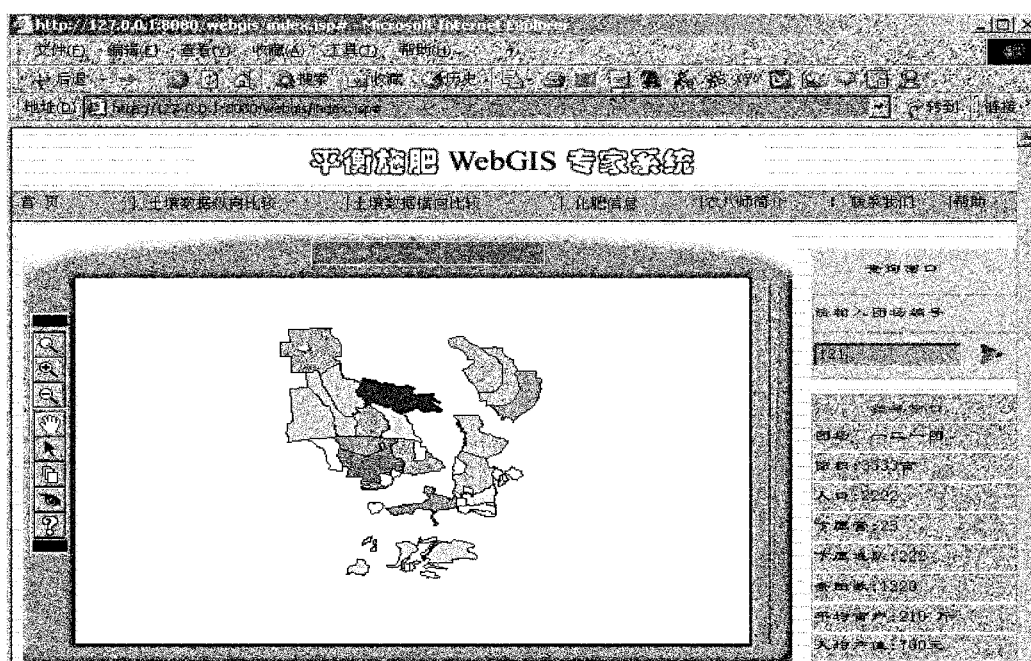


图 6 基于 Internet 的开放分布式平衡施肥 WebGIS 专家系统

Fig 6 Based on Internet open distributed WebGIS expert system for balance fertilization

### 1.3 实施系统

系统集成包括: 节水灌溉控制软件与硬件的集成、土壤养分管理系统与变量施肥机的集成、农田病虫害监测系统与变量施药作业系统的集成、3S 技术与采棉机的集成。系统利用可变参数技术, 通过计算机并结合 GPS 系统来实现这种集成自动控制。

现以 3S 技术与采棉机的集成为例, 如图 7 所示。

2002 年 9 月, 在农八师 149 团使用 CA SE 2555 测产系统和相关 DGPS 系统, 进行了田间收获测产试验。测产系统的数据误差在 5% 以内, 图 8 为产量分布图。

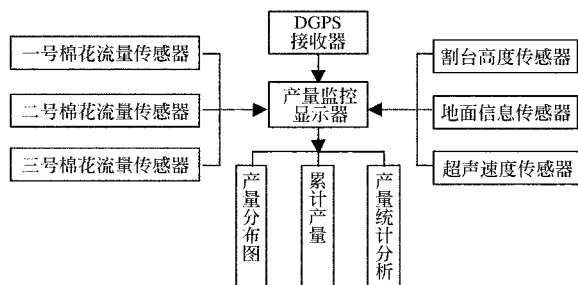


图 7 智能化棉花测产系统结构

Fig 7 Configuration of intellectual cotton mapping system

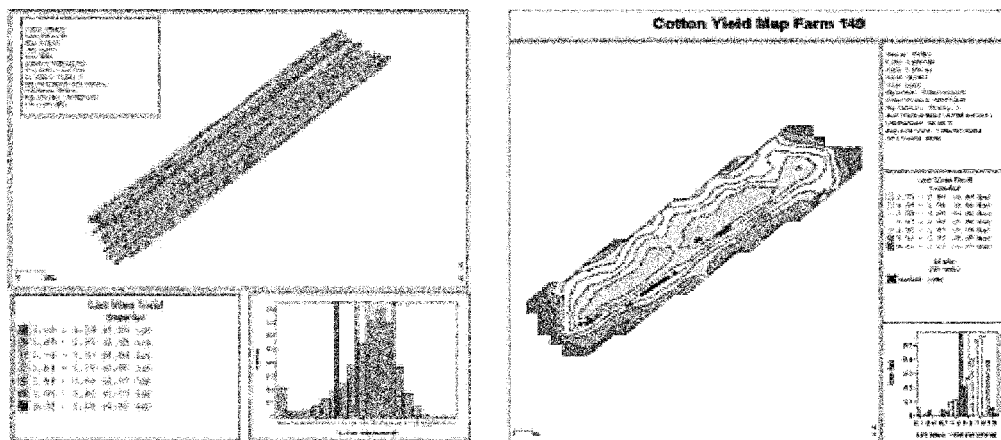


图 8 棉田产量空间分布图

Fig 8 Cotton yield map

## 2 新疆兵团精准棉花种植信息集成研究

新疆兵团石河子农八师, 在引进北京农林科学院和国防科技大学共同开发的网络化、构件化农业专家系统开发平台(PA D3 0)及相关系统的基础上进行系统功能开发、系统平台搭建、网络系统集成等二次开发, 初步形成了以棉花为主的基于 Internet 的开放分布式专家系统。专家系统利用分布式计算技术和 Web 技术开发网络化农业智能应用系统, 以 SQL Server 作后台数据库, 利用 COM /DCOM 技术实现了系统的对象封装、界面分离和分层管理<sup>[12]</sup>。

由于采用农业专家系统开发平台具有网络化、构件化、层次化、智能化、可视化的特性。平台具有开放性、异构性、封装性和继承性等特点, 容易跟其他关键技术集成, 可面向对象进行定制组件, 挂接任何基于 Windows 开发的动态连接库 DLL (服务器端) 和基于 OLE 技术标准的 ActiveX 构件 (客户端), 可满足不同层次用户 (系统管理员、知识工程师、普通用户) 的需要。开发出的系统具有友好的多媒体界面, 图文并茂; 事实数据、知识规则录入和结果输出可视化; 同时集成了 GIS (地理信息系统) 功能, 使开发平台具有图形显示、面积测算、缩放漫游、简单查询、互动查询、条件查询、数据自动获取等功能<sup>[13]</sup>。

目前, 新疆棉花种植面积 1500 万亩, 面积占全国的

26%, 产量占全国的 36%。现在, 已开发了新疆棉花综合管理专家系统、棉花生长模拟专家系统、新疆棉花病虫害诊断防治多媒体系统、利用 TM 影像空间数据与地理信息迭加建立的团场地理信息系统; 数据库方面建立有示范区历史产量数据库、土壤肥力数据库、气候资料数据库、棉花不同生长期的光谱数据库; 同时开展了棉田膜下自动控制滴灌系统的应用研究, 并在各示范团场推广应用。

结合新疆农业生产实际开发的系列数字农业技术软件产品, 以及与自主开发和引进的硬件平台组装集成的技术体系可用于棉花的精准播种、节水灌溉、变量施肥、病虫害预测预报与防治、长势监测等产前、产中管理决策; 开发的农业科技与产品市场分析预测网络信息系统, 可用于产后的产品市场预测分析决策, 为生产与销售管理者提供信息服务与技术支持。成果转化后, 可以提高生产效率 20%、提高经济效益 15%, 其中提高棉花的化肥利用率 10%, 节水 30%, 降低病虫害 50%, 增产 10% 左右, 促进生产管理向精准化方向发展, 实现节本增效, 保护生态环境, 提高新疆特色产品的市场竞争力。新疆石河子高新农业科技服务中心、新疆农业大学、石河子大学、农科院等开发的农田土壤养分与作物推荐施肥系统以及棉花栽培管理专家系统已经在新疆部分县市的棉花生产管理中进行了试点示范, 农业信息技术产品在农业生产中的增收节支效果非常明显, 市场潜力巨

大。

### 3 结 语

棉花精准种植在中国还处于试验初期, 新疆精准棉花种植信息系统的研究对新疆及全国实施精准棉花种植有一定的指导和辅助决策作用<sup>[14]</sup>。

棉花生长受多种因素的制约, 在本系统设计时, 没考虑棉花长势监测及估产的遥感信息的获取、处理和应用。棉花精准种植系统的完善不仅需要大量、准确的信息和先进技术, 同时还需要在较长的时间对制定方案的过程、方法、模式进行调整、修改, 它是农业科学与信息科学、科研成果与专家知识相互交叉渗透而产生的新领域, 是一项比较复杂的系统工程。

#### [参 考 文 献]

- [1] 王长耀, 牛 铮, 等. 对地观测技术与精准农业[M]. 北京: 科学出版社, 2001, 104
- [2] 刘爱民, 等. 现代精准农业及我国精准农业的发展方向[J]. 中国农业大学学报, 2000, 5(2): 20- 25
- [3] 汪懋华. “精细农业”发展与工程技术创新[J]. 农业工程学报, 1999, 15(1): 1- 9
- [4] 卢 珊, 等. 论精准农业建设的地理信息技术关键[J]. 地

- 球信息科学, 2001, 25(1): 38- 42
- [5] 张 斌, 等. 棉花综合管理专家系统的研究应用[J]. 计算机与农业, 2000, (5).
- [6] 谢高地, 等. 水稻精准种植技术的集成研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(1): 44- 47.
- [7] 孙 莉, 陈 曦, 等. 新疆棉花精准灌溉指标体系试验示范研究[J]. 中国棉花, 2004, 31(9): 22- 24
- [8] 孙 莉, 包安明, 等. 新疆棉花精准施肥指标体系试验示范研究[J]. 中国棉花, 2005, 32(1): 27- 29.
- [9] 王 涛, 吕昭智, 等. 用Delphi开发新疆地区棉铃虫测报数据库管理系统[J]. 干旱区地理, 2005, 28(1): 72- 75
- [10] 汪懋华. “精细农作”技术发展及农业装备技术创新系列讲座[J]. 农业机械, 1999, 5
- [11] 赵春江, 等. 北京地区智能化农业信息技术应用示范工程[J]. 计算机与农业, 1998(增刊): 1- 8
- [12] 张 清, 陈 曦, 等. 棉花精准农业种植与管理系统初步分析——以新疆生产建设兵团为例[J]. 干旱区地理, 2004, 27(4): 628- 632
- [13] 孙 莉, 陈 曦, 等. 精准农业种植中棉田自动化滴灌系统的应用[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(1): 217- 220
- [14] 孙 莉, 陈 曦, 等. 精准农业技术应用示例分析[J]. 干旱区地理, 2002, 25(3): 257- 263

## Application of the integrated precision farming system of cotton growing in Xinjiang Region

Sun Li<sup>1</sup>, Zhang Qing<sup>1</sup>, Chen Xi<sup>1</sup>, Wang Jun<sup>2</sup>, Bao Anming<sup>1</sup>, Zhang Bin<sup>2</sup>

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China;

2. Shihezi Committee of Science and Technology, Shihezi 832000, China)

**Abstract:** A study on the precision cotton growing in Shihezi Experimental Area in Xinjiang was carried out based on the characteristics of the mechanized, intensive and large-scaled production and the consideration of the actuality and basic conditions of cotton growing in Xinjiang Group Company of Production and Construction by using the new technology, conception, ways and means of GIS, RS, GPS, ES and MS. After following up the advanced study achievements and development level of domestic and foreign precision agriculture, the characteristic digital farming system and popularization mode were developed by completing, developing and integrating the available farming devices in Xinjiang based on the innovation of digital farming technologies and the integration of domestic available research achievements and technologies as well as the information technology, and a large-scaled application demonstration was carried out. After making great efforts under the cooperation with some units, a study on the integration of information system for the precision cotton growing was carried out in three aspects including the farmland information collection system, information processing system and implementation system, and some preliminary achievements have been achieved. These achievements were applied in the management decision-making of the integrated and completed technological system, precision cotton seeding, water-saving irrigation, variable fertilization, prediction and control of plant diseases and insect pests, cotton growth monitoring, etc. based on the developed and introduced hardware platform. Thus, a set of advanced, matured and intellectualized decision-making systems for precision cotton growing and management were formed, which were suitable for cotton growing in Xinjiang, and those were integrated with the variable farming devices in the demonstration. The achievements in this study can be referred in precision cotton growing in Xinjiang and other regions in China, they have popularization significances in Xinjiang and even in other provinces of China, and the market potential is huge.

**Key words:** cotton; precision farming system; system integration; Xinjiang