

Y 1215761



分类号 S126

学 号 20045201021

南京农业大学

硕士学位论文

基于 GIS 的区域作物生产管理信息系统的研究

陈宏金

指导教师 朱 艳 副教授

专业学位 农业推广硕士

研究领域 种 植

研究方向 农业信息技术

答辩日期 二〇〇七年六月

基于 GIS 的区域作物生产管理信息系统的研究

摘 要

农业信息管理系统是通过对农业生产过程中的各种信息进行采集、加工和处理,为生产、管理和决策提供帮助的信息处理系统。它是农业信息化和现代化的基础性工程。本研究在总结、提炼相关作物生产理论与技术研究成果的基础上,运用系统分析原理和数学建模技术,构建与完善了种植制度、生态区划、精确农作、生产力分析的定量化作物生产管理知识模型,并运用软构件技术,建立了基于 GIS 的作物生产管理信息系统。系统实现了区域性的农业空间信息查询与分析、作物种植制度设计的数字化、农作生产力分析、精确农作管理等功能,为作物生产空间信息的规范化和数字化管理提供了技术平台。

系统以 ASP 为主要开发语言,基于组件开发环境的独立性和集成开发的便捷性,围绕知识模型与 GIS 组件进行系统集成,探索了 GIS 和模型的耦合技术。针对农业信息具有时空性和动态性的特点,将 GIS 技术应用于作物生产信息管理,建立了属性数据库和空间数据库,并使属性数据库和空间数据库相互关联;将作物管理知识模型应用于农业信息管理系统,研制开发了基于 GIS 和模型的作物生产管理信息系统。系统实现了基本地图操作、信息查询与分析、种植设计、生产力分析、精确管理、系统维护以及系统帮助等主要功能。

在综合考虑土壤有机质、全氮、全磷、碱解氮、速效磷、速效钾、pH、阳离子交换量等指标的基础上,采用层次分析法确定土壤肥力评价因子的权重,并对评价指标建立相应的隶属函数,通过计算其隶属度,从而求得每个评价单元的土壤肥力综合指标值,并依据综合值确定土壤肥力等级,构建了农田土壤综合肥力评价模型。

系统在浙江省的测试检验结果表明,系统的设计思想和结构框架符合现代农业管理信息系统的发展要求,实现了浙江省农业空间信息的规范化和数字化管理。系统操作简单,结果显示直观,具有较高的信息管理效率,同时系统基于空间信息的农业生产布局与管理决策方面表现出了较好的适应性和指导性。

关键词：GIS；知识模型；种植制度；生产力评价；土壤肥力评价；精确农作；
决策支持

GIS-BASED CROP PRODUCTION MANAGEMENT SYSTEM

ABSTRACT

By collecting and analyzing information of agriculture farming, the agricultural information management system can provide decision support on production management, and which is the basic job of agricultural informationization and modernization. Based on the summarization and extraction of regional agriculture cropping evaluation theory and technology achievements, a set of dynamic knowledge models which can be used for cropping system design, cropping ecological distribution, evaluation of soil fertility, precision management, and estimation of cropping productivity were developed with system analysis theory and modeling method. By using the technology of software component, with GIS as spatial information management platform, a GIS and mode-based system for crop production management was developed. The system realized the functions of cropping information query and analysis, cropping system design, crop productivity evaluation and precision farming, and lays a foundation for facilitating the quantification and digitization of crop production management.

Based on the component characteristics as independency of development environment and convenience of integration, the system was developed with ASP programming language. Considering the temporal, spatial and dynamic characters of agriculture information, and applying GIS to crop production management, a double database structure with attribute and spatial database structure was constructed. Furthermore, by applying agriculture management knowledge model to agriculture information management system, a GIS-based crop production management system was developed. The system realized the functions as basic map handling, agriculture spatial information query and analysis, cropping system design, ecological distribution of farm products, cropping productivity evaluation, precision farming management, system maintenance and help.

Based on comprehensive consideration of soil properties such as organic matter content, total nitrogen content, available nitrogen content, total phosphorus content,

available phosphorus content, available potassium content, pH and CEC, AHP was applied to calculate the weights of the soil fertilization evaluation factors, and then the subjection function was developed to calculate the subjection degrees of evaluation factors, and finally the integrated index value of each evaluation unit was calculated. Soil fertility grades were determined according to the integrated index value. This model for soil fertilization evaluation lays a foundation for precision management.

Case studies on the system with the datasets in Zhejiang province indicated that the design idea and structure framework of system accorded with the development demand of modern agricultural information management system, and realized standard and digital management of agriculture spatial information. Users can simply operate the system without requirement of the GIS platform. The system exhibited higher information management efficiency and query speed, as well as good applicability and guidance on ecological layout and decision support for agricultural farming.

KEY WORDS: GIS; Knowledge model; Cropping system design; Productivity evaluation; Soil fertility evaluation; Precision management; Decision support

原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者（需亲笔）签名：张金全 07年6月18日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权南京农业大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

保密□，在___年解密后适用本授权书。本学位论文属于不保密□。

（请在以上方框内打“√”）

学位论文作者（需亲笔）签名：张金全 07年6月18日
导师（需亲笔）签名：李艳 07年6月18日

第一章 绪论

1 农业信息管理概述

1.1 数据、信息与地理信息

数据是人们为了反映客观世界而记录下来的可以鉴别的符号,是未加工的原始资料。信息是反映客观世界中各种事物的特征和变化并可借某种载体加以传递的有用知识,是用数字、文字、符号、语言等介质来表示事件、事物、现象等的内容、数量或特征^[1,2]。信息向人们(或系统)提供关于现实世界新的事实知识、作为生产、管理、经营、分析和决策的依据。信息来自于数据,是对数据赋予一定意义的解释。信息具有客观性、适用性、可传输性和共享性。信息管理是为了满足用户需要而进行的信息生产、识别、遴选、收集、加工、传递、存储、检索、输出等工作的总称。地理信息属于空间信息,是指与所研究对象空间地理分布有关的信息,它表示地表物体和环境固有的数据、质量、分布特征、联系和规律^[3,4]。它与一般信息的区别在于它具有区域性、多维性和动态性。区域性是指地理信息的定位特征,这种定位特征是通过公共的地理基础来实现的。多维性是指在一个坐标位置上具有多个专题和属性信息;如在一个地面点上,可取得土壤基础信息、作物生长信息和作物产量信息等。动态性是指地理信息的动态变化特征,即时序性,从而使地理信息常以时间尺度划分成不同时间段信息。客观世界是一个庞大的信息源。随着现代科学技术的发展。特别是借助近代数学、空间科学和计算机科学,人们已能够迅速地采集到地理空间的几何信息、物理信息和人文信息,并适时适地的识别、转换、存储、传输、显示、应用这些信息,从而更好地为人类服务^[5]。

1.2 信息管理系统

信息管理系统是一门不断发展的新兴科学,它是依赖于现代管理科学、系统科学、现代通信技术、尤其是计算机科学的发展而形成的,它具有采集、处理、管理和分析数据的能力。信息管理系统产生于20世纪50年代到60年代,这一阶段的信息管理系统主要以处理单项信息处理为主。20世纪70年代,数据处理从单一的业务处理发展为功能比较完善、综合性较强的综合信息处理。80年代后,随着数据库技术和计算机网络技术的发展,信息管理系统逐步走向成熟、进入决策支持的多功能、多层次、系统化的系统信息处理阶段^[3-7]。管理信

息系统由人、硬件和软件构成，具有信息处理、事务处理、预测、计划、控制和辅助决策的功能。信息管理系统的组成结构如下图所示：

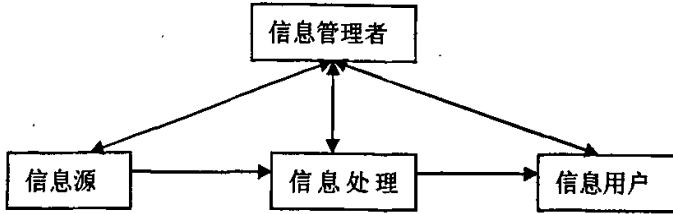


图 1-1 信息管理系统的结构

Fig.1-1 Structure of information management system

1.3 农业信息管理系统

农业信息是指与农业生产、加工和经营有关的一切信息、数据和资料的总和，是农业科研、生产、农村经济、教育和社会发展的重要资源^[7-10]。在农业生产和农村经济发展过程中，农业信息日趋多样化。其中生产信息包括种养殖业结构调整、生产所需的生产资料和资源环境信息等；科技信息包括种植业、林业、畜牧业、农副产品加工业、渔业等科研与技术方面的信息；市场信息包括生产资料和农产品销售与需求信息及价格信息，是农业信息中最活跃的部分；政策信息包括农业中所涉及的法律法规等指导性信息^[11]；管理信息包括产前、产中和产后等农业生产过程中的管理信息。由于农业生产相关的各种信息资源分布在广阔的区域中，因此，农业信息具有典型的时空性和动态性特征^[11,12]。

农业信息管理系统是收集和加工农业系统管理过程中的有关信息，为管理决策过程提供帮助的信息处理系统。根据管理目的而建立，在数据支持下进行与农业相关的事物处理、信息服务和辅助管理决策。在市场经济体制下，及时、准确、经济、适用的信息对农业的作用越来越重要。如果信息失真或延误，不仅会损害农户的利益，也可能导致政府决策的失误，所以必须加快实现农业信息化。

农业信息管理系统按其内容分为土地资源信息系统、土壤资源信息系统、水资源信息系统、农业气候资源信息系统、肥料资源信息系统、农业种质资源信息系统等^[13]。其中土地资源信息管理系统主要用于土地资源调查与监测、土

地资源评价与规划、土地资源日常管理等方面；土壤资源信息系统主要通过建立规范化的土壤数据库为农业生产提供服务。肥料资源信息系统包括肥料区域平衡预测与布局系统、肥料生产与流通管理信息系统、施肥信息系统等内容。农业种质资源包括动物资源、植物资源、微生物资源、基因资源等。

1.4 农业空间信息管理系统

1963年加拿大测量学家R.F.Tomlinson在联邦科学与工业研究组织(CSIRO)一次学术会议提交的一篇题为“区域规划中的地理信息系统”论文中,最早提出地理信息系统(Geographical Information Systems,简称GIS)这一术语,目前已被广为使用。地理信息系统(GIS)有许多同义词,如地学信息系统、地基信息系统、土地信息系统、自然资源信息系统、资源与环境信息系统等等。地理信息系统中“地理”实际上是“空间”的代名词,本质是空间之意,地理信息系统应理解为空间信息系统,其它名称则是对系统对象和内容的强调。地理信息系统的概念目前没有统一的说法,从其物理外壳、内容、功能、应用等不同的角度可有不同的涵义。但其突出的特点在于它的空间性,即它对空间信息的存储、处理和分析管理能力。

一个完整的地理信息系统主要由四个部分构成,即计算机硬件系统、计算机软件系统、地理空间数据和系统管理操作人员,其核心部分是计算机软硬件系统,空间数据库反映了GIS的地理内容,而管理人员和用户则决定系统的工作方式和信息表示方式^[10]。

地理信息系统在计算机软硬件的支持下,可以完成对地理空间数据的输入、编辑、存储管理、查询检索、分析和输出,具备对各类数据的输入、数据编辑、数据存储管理、数据查询检索、数据分析、结果显示输出等基本功能。

把GIS技术引入到农业研究和实践中,可有效管理具有时空属性的各种农业信息数据,对农业管理和实践模式进行分析测试,能有效地对多时期的农业资源信息及生产活动变化进行动态监测、分析比较、评价决策等,有助于将数据收集、空间分析和决策过程综合为一个共同的信息流,提高农业信息管理的效率和效益^[11]。目前GIS研究已在农业资源监测评估、农业区划、土地资源利用、作物长势监测与管理、农业气象资源管理等方面发挥了重要作用。

2 国内外研究进展综述

2.1 国外研究概述

自 60 年代由荷兰和美国开创的信息技术在农业上应用以来,国外的农业信息技术发展迅速。70 年代以后,国际上就已经开展了智能化信息技术在农业领域研究与应用。90 年代以来,随着计算机技术、人工智能技术、网络技术、多媒体技术、GIS 技术的高度发展,信息技术进入了一个新的发展时期。目前发达国家的农业信息技术的研究与应用几乎涉及到农业的所有方面,如农业数据和图像处理、农业系统模拟、农业专家系统、农业决策支持系统和农业信息管理系统等,并已建立了一批直接为农业系统服务的软硬件产业和信息服务系统。

2.1.1 农业信息管理系统

目前,美国的农业是机械化、自动化、遥感遥测、计算机网络为一体的现代化农业,已形成了庞大、完整、健全的农业信息化制度和体系,对信息资源的管理日趋完善,使农业信息化达到更高层次的科学、协调和效率的新水平。美国的农业科研服务体系非常完备。提供农业信息服务的商业化系统近 300 家。美国农业信息化大致经历了三个发展阶段^[12,13]:50~60 年代,计算机主要应用于农业科学技术;70 年代主要用于数据处理和数据库的开发;80 年代后,应用重点是知识处理、农业决策支持与自动化控制的研究与开发。美国最著名的农业数据库是美国国家农业图书馆和美国农业部共同开发的 AGRICOLA,它存有杂志、论文、政府出版物、技术报告等。由联合国粮农组织生产的 AGRIS,存有 10 万份以上的农业科技参考资料。美国开发的 COMAX/GOSSYM 棉花生产管理信息系统是可以履行人类专家智能做出决策的计算机系统,具有决策准确,工作可靠等特点,极大地提高了农业生产管理水平。美国还建有 60 万个植物资源样品信息数据库系统,可用计算机和电话进行存取。

日本、荷兰、澳大利亚、德国、以色列、英国、法国、韩国等国家在建设农业新管理系统方面也都取得很大的成绩。1996 年,日本农林水产省提出的农业信息化战略中,明确要求大力开发和普及农业经营管理决策支持系统。在农业信息系统方面,也开发了为农业生产服务的农耕土地资源信息系统(ALRIS),它包括了土壤信息系统、作物栽培试验信息系统、农业气象信息系统等子系统。荷兰瓦赫宁根农业大学 Jos 等人研制的农业经济评价管理信息系统,澳大利亚 Swinburne 科技大学 TonyLewis 建立了农田管理信息系统^[14-16]。

此外,关于 GIS 应用于农业方面的报道也很多。美国的 Florida 大学农业工程系 Calixe、Jones and Lal 将 DSSAT3.0 结合地理信息系统(ArcView)集成了农业环境地理信息系统的决策支持系统(AEGIS);Singh 等人将 CERES 作物模拟模型与 GIS 结合,建立了印度尼西亚区域空间分析农业生产模式的决策支持系统;台湾逢甲大学周天颖等人利用 GIS、RS 和 CERES-RICE 模型建立了台中

市水稻生产的农业土地利用决策支持系统。

2.1.2 农业信息网络建设

农业信息网络技术作为农业信息管理系统的载体,为农业信息管理系统的广泛应用提供了直接的技术工具^[17]。网络技术因具有可及时、准确、经济、全面地搜集所需信息的特点,因此,信息网络正在迅速伸向发达国家的农村。目前世界上最大的农业中心网络系统是美国内布拉斯加大学于 1975 年创建的 AGNET 联机网络,可提供 200 多个不同用途的农业软件。该系统覆盖了美国国内的 46 个州,加拿大的 6 个省和美国以外的 7 个国家,连通美国农业部、15 个州的农业署、36 所大学和大量的农业企业。用户通过家中的电话、电视机或计算机,便可共享网络中的信息资源。英国也建立了覆盖全国农业计算机服务网络 (AGRINET)。日本早在 1994 年第就已开发农业网络 400 多个,计算机在农业生产部门的普及率达 93%,日本政府也在实施一项意在 21 世纪使所有农民拥有微机的“绿色天国”计划。其他如美国的 AgComputing、Inforline、AGRI-STAR,日本的 CAPTAIN,澳大利亚的 CISC,荷兰的 EIPRE,等都是较有名的农业信息网络。这些先进的计算机通信网络使农业生产者更为及时、准确、完整地获取市场信息,有效地减少了农业经营的生产风险,可以说,农业信息管理系统要得到广泛的应用,离不开农业信息网络的建设与运行^[18,19]。

2.2 国内研究进展

我国农业信息技术的研究起步于 70 年代中后期,80 年代中后期以来,我国的农业信息技术发展迅速,主要是将系统工程、信息管理系统、专家系统、决策支持系统、遥感技术等应用于农业信息技术研究,其中农业信息资源建设是一项艰巨复杂的长期性工程,农业信息管理系统以农业信息科学为指导,运用现代信息处理技术、数据库技术、多媒体技术、网络技术等农业信息技术,基于农业环境、生物、社会和科技等信息,建成具有信息资源采集、维护、统计、分析、模拟、输出等功能的现代化信息管理体系^[20]。

2.2.1 基于 C/S 体系结构的农业信息管理系统

客户/服务器模式的管理信息系统是基于局域网的,由数据库服务器提供的 RDBMS 支持。用户界面程序则安装在客户机上,且这些代码是与特定的操作系统平台相关的。在这种模式下,客户软件随着服务器软件的不同而不同,访问不同的服务器需要不同的客户软件,不适合在多平台环境下运行。随着功能的扩展,客户端变得越来越庞杂,使系统的维护越来越困难。

中科院南京土壤研究所和南京师范大学 2001 年合作开发的江苏省农业技术服务分布式数据库,采用客户机/服务器为网络通信模型,UNIX 为数据通信平台,利用 UNIX 服务器上的 Shell 脚本语言编译器,以简单的 ASCII 码文本形式的解释型脚本语言为基础,开发了 CGI 技术^[21-23],采用与 HTML 表单一道使用的 POST 请求方法,实现了江苏省农业技术信息在网上的远程交互动态查询和信息共享。

由江苏省徐州市农业局和西北农林科技大学植保学院在 2002 年合作研制开发的植保信息管理系统^[24],选择 SQL Anywhere 作为数据库管理系统,采用网络环境下的客户机/服务器数据库结构,以 VB 作为数据库前端开发工具^[32]。该系统包括病虫害基本信息管理、病虫害调查数据管理、农业气象管理、病虫测报、系统维护、帮助等六个子系统,该系统使植保各类信息管理日常化、规范化,并应用计算机技术集成多种预测预报方法,如方差分析、多元回归分析、逐步回归分析、时间序列分析、聚类分析和灰色预测等实现病虫害的短期和长期预测预报。

2.2.2 基于 B/S 体系结构的农业信息管理系统

随着因特网的迅猛发展,基于网络 B/S 结构的农业信息管理系统逐渐成为主流。“九五”期间,我国农业与农村经济信息化的重点工程——“金农工程”启动,全国各地建立了 2200 多个农业或涉农网站,其中比较完善的是由中国农科院作物品种资源研究所等单位研制的“中国作物种质信息系统”,包括 141 种作物,27 万份种质信息,1259 万个数据项,总数据量 590 兆。国家物价局价格中心研制的“农产品集市贸易价格行情数据库”,收集了我国 35 个大中城市的粮食、食物、蔬菜、禽蛋、肉、鱼、水果等 28 种大宗农副产品的集市贸易价格,具有检索、报价查询、分析对比等功能^[25-27]。

由南京农业大学唐惠燕于 2003 年研制的网络化农业信息管理系统^[28],在综合农学、生态学、统计学以及计算机科学等的基本理论与方法的基础上,通过广泛收集农业资源信息数据、专题数据(如品种数据、土壤数据、气象数据、农村经济信息等),并对这些信息进行标准化和规范化,建立了包括属性数据、图片数据、网络资源等在内的多媒体农业信息数据库,进一步构建了具备信息采集、查询、分析、统计、预测、维护、输出等功能的基于 B/S 体系结构的网络化农业信息管理系统(WAIMS),系统的建立有助于实现农业数据库的系统化、标准化和智能化^[29,30,31]。

由中国农业大学余国宏于 2000 年研制的基于 Web 数据库的农田信息服务系统^[32],采用三层架构思想建立了基于 Browse/Server 的系统结构,采用

Windows .NT 平台上的 IIS 作为 Web 服务器,采用 SQL Server 管理并提供后台数据服务,保证数据的一致性、安全性和完整性,客户端与数据库服务器端的数据请求和响应通过嵌有 ASP 脚本的 HTML 超文本标识语言网页来完成。该系统数据包括气象数据、土壤数据、农学数据、植物营养数据、农业环境数据。功能模块包括:数据录入模块、数据维护模块、数据服务模块、数据转出模块。

由中国农业科学院科技文献信息中心主持、于 2001 年启动的“农业科技基础数据信息系统的建设”项目,也是基于 B/S 分布式网络模式构建。该系统包括三个信息子系统,即农业科技管理信息子系统、农业科学研究信息子系统、农业推广与产业化信息子系统。

2.2.3 空间信息管理系统

随着 3S 技术的不断发展,使得信息管理系统管理具有时空性和动态性特征的农业信息成为可能。GIS 是以地理空间数据库为基础,在计算机软、硬件支持下,集数据库技术、计算机图形与空间分析于一体,以实现信息获取、存贮、管理、分析与应用目的的系统。近年来,在国家相关项目的支持下,已研制出一些空间信息管理系统^[33-39]。

中国农业科学院农业自然资源和农业区划研究所研制的全国农业资源空间信息系统(NASIS),采用了 Titan-GIS COM 控件,以 MS Visual C++编程实现系统的基本查询统计功能,采用 Borland Dephi6.0 实现查询结果报表打印功能,属性数据库采用 MS Access 和 MS SQL Server 2000。系统的结构设计充分考虑将来的可扩充性。系统以行政区划信息为基础,对全国农业资源空间信息和属性信息进行高效组织、管理、查询、分析与制图。系统实现了对空间矢量地图、栅格图像、遥感图像以及表格属性信息的高级统一管理。目前,系统已经用于全国农业遥感监测、农业资源调查、农业科研和农业政策信息支持服务等方面,并产生了巨大的经济效益和良好的社会效益^[40,42]。

由北京大学城市与环境学院研制的基于 C/S 和地理信息系统开发的国家、流域和省三级管理体系的水利部环境空间信息管理系统,目的是为了提高水环境监测信息的准确性和时效性,并能客观、准确、及时地反映水环境、水资源质量状况,为决策提供科学依据。该系统采用电子地图进行监测站网基本信息管理,可进行水环境信息的查询检索、统计、分析评价结果的图表处理与输出,水质模型预测与分析^[41]。由南京农业大学刘小军研制的基于 WebGIS 和模型的农业空间信息管理系统除了实现基本信息查询、空间分析等基本功能外,还融合了作物管理知识模型,增加了农作生产力分析、优质农产品生态区划、精确农作管理等农业辅助决策功能^[43]。

2.2.4 农业信息网络建设

1987 年农业部成立信息中心, 开始重视和推进计算机技术在农业领域的试点和应用, 1994 年以来, 中国农业信息网和中国农业科技信息网的相继开通运行, 标志着信息技术在农业领域的应用开始迈入快速发展阶段。金农工程就是农业信息网络建设。实现在网络上传输农情、农业市场信息。从我国信息网络基础设施的发展看, 我国 31 个省、自治区、直辖市都已经建立了省级信息网络平台, 主干信息网已形成, 并且已有 26 个省信息主干网连通到县。

3 本研究的目的和意义

21 世纪是信息化的社会。人们将愈益广泛和深入地利用信息科学技术革命的成果来面对人口、资源、环境的压力, 不断深化认识和揭示生物世界的奥秘和科学地调控利用自然资源和改善生存环境的能力, 实现基于知识和信息的生产过程管理决策。农业是国民经济的基础, 农业现代化是国民经济发展的必然要求。用信息技术改造传统农业, 以农业信息化带动农业现代化, 这对于加快调整农业结构, 提升农业生产管理水平和提高农业生产力和农产品竞争力水平, 增加农民收入, 应对 WTO 对我国农业的冲击, 实现农业的可持续发展具有重大意义^[4,33]。

农业生产受到土壤、气候、技术、作物等诸多因素的影响, 表现为时空变异性大、经验性和地域性强、定量化和规范化程度低。农业管理部门和农业技术人员越来越多地借助于计算机等高新技术, 获取不同尺度、不同时空的农业信息, 但是目前的农业信息具有分散性和不规范, 还不能在农业生产决策过程中起直接的推动作用。农业信息管理系统通过对农业信息进行采集和处理, 为农业生产者和决策者提供各种有用的农业信息, 同时它作为农业信息技术的载体, 对促进农业的现代化和数字化起着越来越重要的作用^[44-49]。因此, 各级农业部门都希望建立实用的农业信息管理系统, 为农业生产提供直接高效的信息服务, 并为农业的产前、产中和产后提供辅助决策服务, 提高农业生产的信息化以及管理水平和效益。

近年来, 国内外已研制出多种农业信息管理系统, 并在示范应用中取得显著的社会经济效益^[49,50,51,52]。目前已有的农业信息管理系统主要用于传统意义上的农业信息管理, 不具有辅助管理决策功能, 且不能有效管理具有时空性和动态性特征的农业生产信息。农业管理知识模型通过解析农业生产管理方案与环境之间的定量化关系, 克服了传统专家系统地域性和经验性的缺点, 为区域农业

的管理决策和数字化设计提供了辅助工具^[40,49]。与此同时,基于 GIS 的空间信息管理系统可以掌握作物生产的区域差异及其变化规律,正确指导区域作物生产系统的发展,为实现农业管理的时空性和动态性提供了良好的技术平台。

为此,本研究以浙江省金华市为例,综合应用系统理论、系统工程方法,将作物——环境视为统一体,结合农学、土壤学、农业经济学和计算机技术等多学科知识,实现基础数据库、模型库与 GIS 空间信息管理功能的有效耦合,建立区域作物生产管理信息系统,为作物生产信息管理、作物种植区划、精确作物管理等提供服务,从而促进金华数字农业和现代农业的发展。

第二章 研究思路与方法

1 研究思路与技术路线

1.1 研究思路

本系统的研究采用系统工程和软件工程的思想,根据研究目的明确所要研究的系统内容,综合应用农学、土壤学、生态学、环境科学、地理科学、统计学以及计算机科学等学科的基本理论与方法,通过广泛收集和了解与农业生产相关的气象数据、品种数据、土壤数据以及农村经济信息和地图等数据的特征,对这些信息进行分类与规范,借助北京超图公司的 SuperMap 平台,构建包括具有属性数据和空间数据的农业信息数据库。

其次,通过总结、归纳和提炼农业生产管理决策及评价理论与技术成果,运用计算机编程语言,研制开发农业管理知识模型。

再次,通过进一步研究知识模型、GIS 和数据库的偶合与集成方法,应用面向对象的分析和设计方法,采用模块化和构件化的程序设计,运用 ASP 语言开发基于 GIS 的区域作物生产管理信息系统 (GIS-based Crop Production Management System, CPMS),并以浙江省金华市为例进行测试与检验。

1.2 技术路线

根据系统设定的研究内容和上述研究工作的基本思路,确立了系统研究开发的技术路线。如图 2-1 所示。

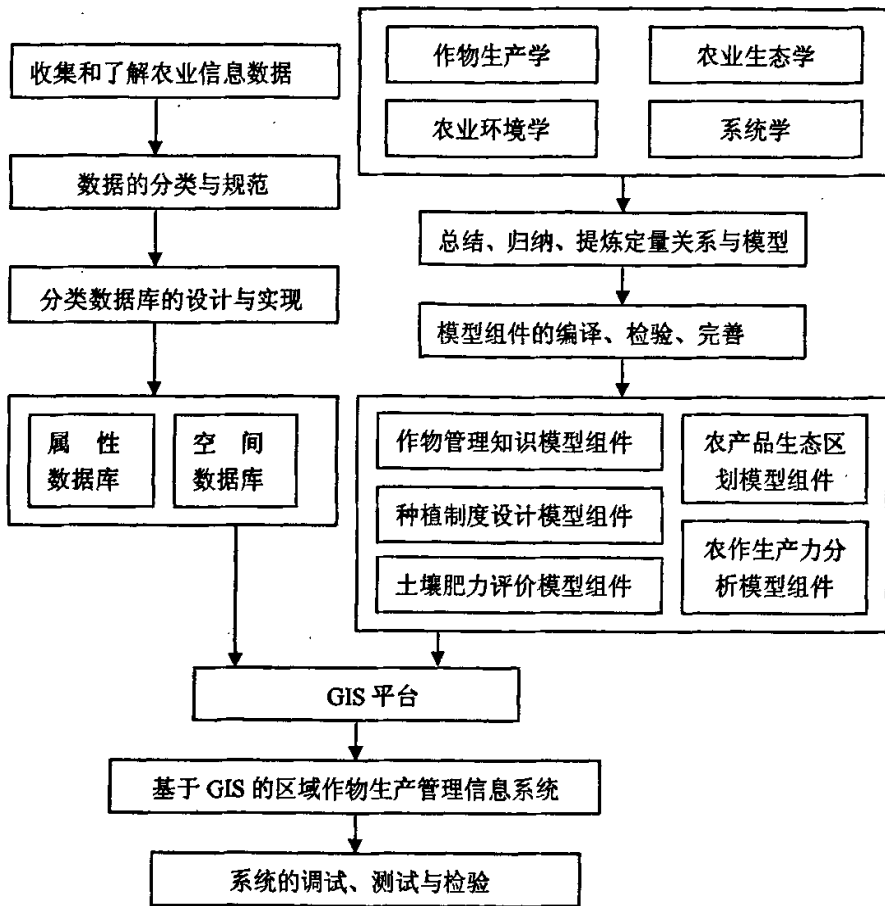


图 2-1 系统开发的技术路线

Fig.2-1 Technical route for CPMS development

2 系统的结构与功能设计

2.1 系统设计原则

(1) 实用性：系统的实用性是系统维护运行和创造效益的前提，真正实现决策科学化、管理现代化。

(2) 安全性：系统运行的安全性、数据的安全性和保密性，系统应有很强的容错能力，数据库中的所有资料应是准确可靠。

(3) 完备性：系统的各项功能及管理的各种数据应是全面、完整。

(4) 规范性：信息编码统一规范，遵循行业标准。

(5) 可操作性：系统应有良好的用户借口，系统的界面风格统一、美观，易学易懂，操作简便、灵活。

(6) 可扩展性和开放性：具有良好的接口和方便的二次开发，以使系统不断地扩充、求精和完善；系统在输入、输出具有较强的兼容性。

2.2 系统结构设计

系统由数据库、模型库、GIS 和用户界面四部分组成（图 2-2）。

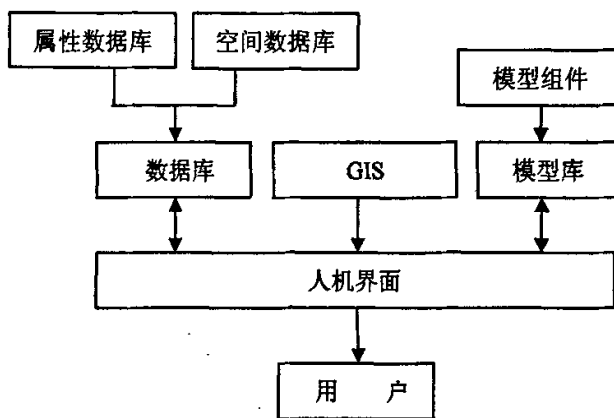


图 2-2 系统的结构

Fig.2-2 Framework of CPMS

2.3 系统的功能设计

为满足不同层次用户对各种农业信息的需求，并在提供信息服务的同时，能根据不同区域的特点，针对具体情况为用户（农户）提供切实可行的农业生产辅助管理决策。本系统在充分调研的基础上，依据农业领域的特色及信息管理系统的特点，设计了 CPMS 系统的功能，如图 2—3 所示。系统的建立将实现区域性农业空间信息的规范化管理与查询及不同时空层次下基于农业生产系统的辅助管理决策。包括地图操作、空间信息查询与分析、种植制度设计、农作生产力分析、精确农作管理、可视化输出、系统维护以及帮助等功能。

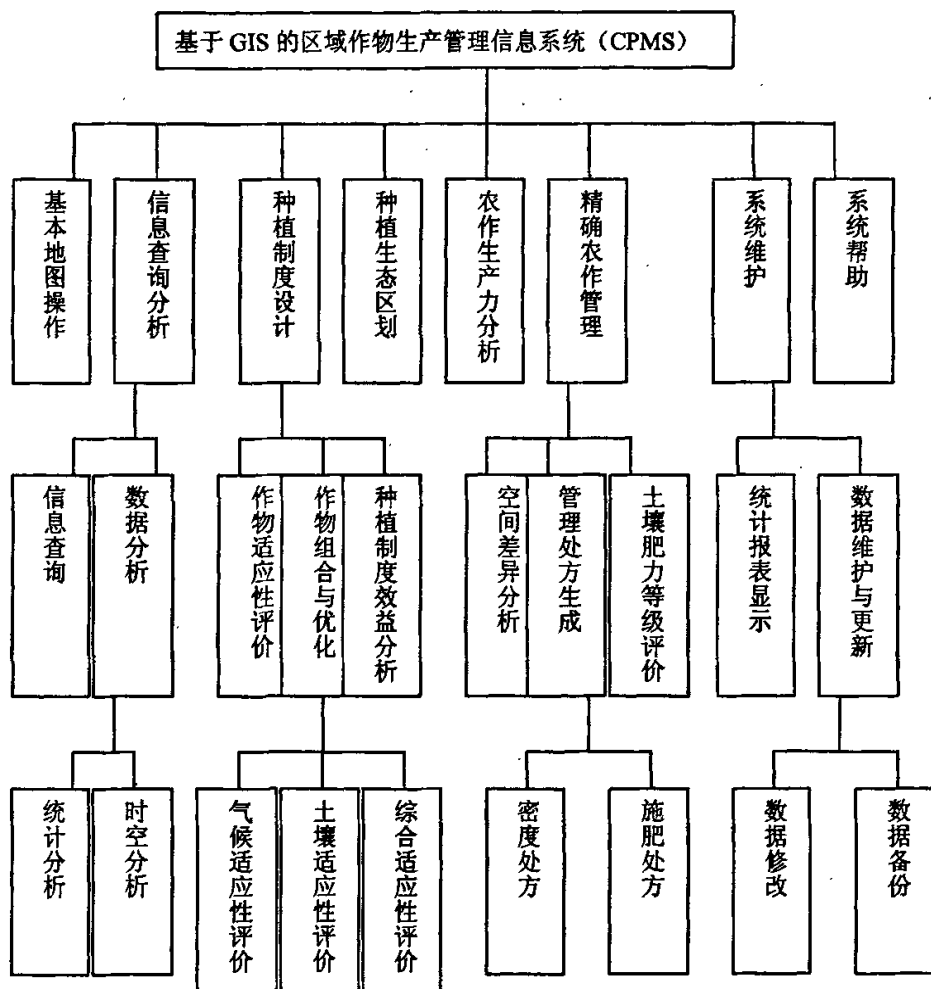


图 2-3 系统功能简图

Fig.2-3 Function of CPMS

2.4 系统开发流程

常用的系统开发方法有生命周期法和快速原型法两种，其中生命周期法在系统开发完成之前是不要用户参与的，而快速原型法则是先快速地建立系统原型，让用户进行反复调试，并根据反馈意见对原型系统进行反复构造，直到用户对系统完全满意为止^[53,54]。本系统考虑到方案的可行性及系统的开发研制过程分为计划、开发、运行三个周期，每个周期又分多个阶段，如图 2-4 所示。

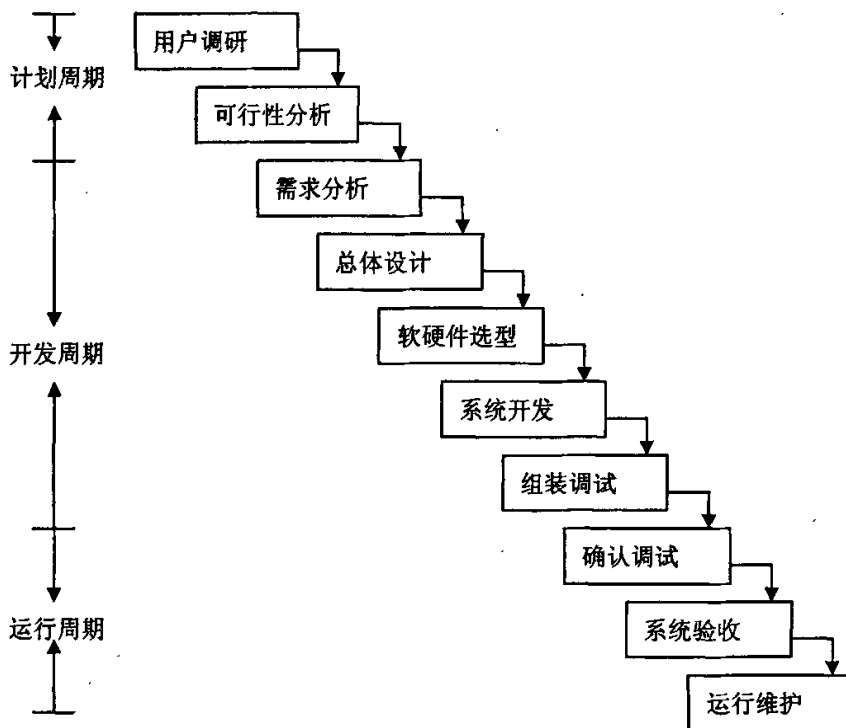


图 2-4 系统开发流程

Fig.2-4 Development flow for the CPMS

3 知识模型的构建

知识模型是指运用系统分析原理和数学建模技术来定量表达农业专家知识体系，是新近开始的一种新的数字化知识工程技术^[18,49]。知识模型大多数是在专家系统基础上对专家知识进行综合性和定量化的提炼和改善，目前尚未形成比较成熟的研究方法和程序。但依据软件工程思想及开发流程，实用知识模型的开发过程可分为认识、概念化、形式化、实现及检验与测试五个阶段见图 2-5。

认识阶段：知识工程师通过与领域专家的合作，对领域问题进行需求分析。

概念化阶段：把问题求解所需要的各种专业知识概念化，确定知识概念及概念与环境之间的关系，建立知识表达的流程结构以及逻辑性和概念性的模式与模型。

形式化阶段：收集资料，在资料获取的基础上进行数理统计分析，把已经

整理出来的概念模型转化为问题求解的定量化数学模型和算法。对一些暂时无法获得的资料或难以量化的过程，必须采用黑箱模拟的方法，借助于逻辑性的合理假设和数学推导，得出描述系统过程的理论方程。

实现阶段：把建立的数学模型映射到具体的计算机软硬件环境中，选择实用的编程语言或工具建立可执行的原型系统。

测试阶段：通过运行大量的实例，检测模型的正确性及性能等是否达标，并通过测试，根据反馈信息对模型进行修改和完善。

本系统中的知识模型体系主要是作物管理知识模型、种植制度设计模型、农作生产力分析模型和土壤肥力等级评价模型。

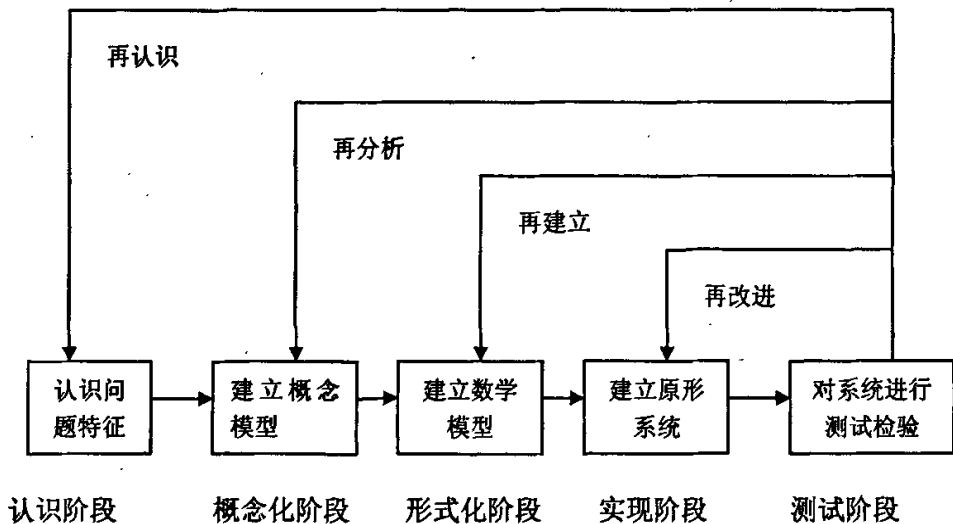


图 2-5 知识模型开发的五个阶段

Fig.2-5 Five stages of knowledge model development

按照系统中的功能设计特点，本系统中的知识模型体系主要包括作物管理知识模型、种植制度设计模型、农作生产力分析模型、农产品生态区划模型和土壤肥力等级评价模型。其中土壤肥力等级评价模型是本研究的重点，其它模型是在江苏省信息农业高技术研究重点实验室的基础上，根据功能需要，进行提炼、整合而成。

3.1 作物管理知识模型

作物管理知识模型是基于作物——环境——生产管理三者之间的关系而建立起来的定量化描述作物生育及管理指标与环境因子动态关系的模型系统，它是在广泛收集及充分理解和分析作物生产管理专家知识和经验的基础上，利用作物生产理论与技术方面的已有研究资料，并结合必要的试验支持研究，借助系统分析原理和数学建模技术，对作物生育及栽培管理指标与品种类型、生态环境及生产水平之间的关系进行解析、提炼和综合而建立起来的定量化和系统化的动态模型，因而具有广泛的时空适应性、决策性、高度精练性和实用性等特点^[18]。

作物管理知识模型以提高作物生产的精确化管理水平和产出效益为目标，可以在不同的时空条件下设计出适宜的生产管理方案和动态调控措施，包括产量和品质目标的确定、适宜品种选择、播期确定、移栽期确定、基本苗和播种量的设计、肥料运筹等和水分管理、群体茎蘖动态调控等^[31,37]。本研究在解析江苏省信息农业高新技术研究重点实验室已有知识模型的基础上，提取出部分适用于精确农作管理的作物管理知识模型模块，包括基本苗和播种量的设计、肥料运筹。

3.2 种植制度设计模型

种植制度是指一个地区或生产单位的作物组成、配置、熟制与种植方式的综合，是以提高资源利用率，增加周年生产力，促进农业产业和农村经济全面持续发展为目标的农作物生产布局和种植模式。种植制度的核心是基于不同作物组成的周年种植模式，主要内容包括作物结构与布局、复种、间套种、轮作等不同的作物复合生产方式，是周年作物生产管理方案设计的重要基础。种植制度设计的基本原则是资源的集约利用，生态条件的高度适应，作物类型的多熟组合，周年产量的最优表现，经济高效的综合优势。种植制度的发展和变革与自然资源、技术条件、社会需求和经济发展状况密切相关。

种植制度优化设计的知识模型研究就是按照农业专家进行种植制度设计的技术环节和思路，以不同的单个农作物为基本单元，以生长气候边界的确定、作物生态适应性评价、熟制安排及作物结构优化为目的，将作物的生态特性、熟制设计的生态条件、作物生产的社会与经济水平等方面的理论和技术方面的知识进行高度总结和提炼，并运用统计学、模糊数学、运筹学等手段，分别用

数学方程或方程组来进行系统化表达，从而构建出不同层次、不同内容的作物种植的数字化设计模型^[55,56]。本系统中采用的种植制度优化设计知识模型来自江苏省信息农业高技术研究重点实验室的研究成果。

3.3 农作生产力分析模型

农作生产力指单位面积在整个生长期或一年内的净生产量。农作生产潜力是指栽培条件最佳、作物所需的各种营养能够充分供应，仅仅是不同层次的气候、土壤或社会生产条件作为限制因子时所能达到的产量上限，研究作物生产潜力对作物生产规划、农产品贮运、人口控制、合理开发利用农业自然资源等具有重要意义。

作物生产的实质是一个能量转换、物质循环、养分积累的过程。早期的作物生产潜力研究大部分集中在光、温、水三个要素上，即气候生产潜力，60年代后的研究较为深入，有的利用量子效率等概念开展研究，提出生物产量与太阳总辐射间的估算模式，随后的研究更加深入，大量算法问世，计算参数也逐渐精确。80年代后，随着农业生产潜力、土地生产潜力、耕地生产潜力等概念出现，将作物生产潜力研究推向了一个新阶段^[56]。

3.3.1 光合生产潜力

光合生产潜力是指假定温度、水分、土壤肥力、农业技术措施均处于最适宜状态时，只由太阳辐射所决定的产量。根据李世奎等（1984）的研究思路，作物的光合生产潜力可用模型表达^[51]。

3.3.2 光温生产潜力

光温生产潜力又称热量生产潜力，是指在水分、土壤肥力和农业技术措施处于最适状态下，由太阳辐射和温度所决定的作物产量上限。光温生产潜力一般通过对光合生产潜力进行温度订正而得到。

3.3.3 气候生产潜力

对于缺乏灌溉水源的雨养农田，天然降水是农作物的唯一水分资源。气候生产潜力又称光温水生产潜力或降水生产潜力，指作物的养分供应处于最适状态时，由光、温、水等主要气候要素所决定的作物生产潜力。

3.3.4 灌溉生产潜力

上面提到的气候生产潜力是在无灌溉条件下作物的生产潜力。当有补充灌溉条件时,农田水分来源包括天然降水和灌溉水两部分。此时,作物的生产潜力(即灌溉生产潜力)则受制于灌溉水的满足程度。灌溉生产潜力是指由灌溉要素所决定的农田作物的最大生产能力。

3.3.5 化肥生产潜力

化肥是现代农业生产的重要投入要素,在合理施肥条件下,作物产量会随施肥量的增加而增加。化肥生产潜力是指由灌溉要素和肥料要素共同决定的农田作物的最大生产能力。

本系统中采用的农作生产力分析模型来自江苏省信息农业高技术研究重点实验室的研究成果。

3.4 农产品生态区划模型

3.4.1 优质农产品区划模型

蛋白质含量、淀粉含量、面筋含量(小麦)、垩白度(水稻)等品质指标是衡量粮食作物籽粒营养品质和加工品质的重要指标,也是衡量优质农产品的重要指标。品质指标的高低除了与品种本身遗传特性有关外,还受到气候因素和栽培措施的影响。建立粮食作物籽粒品质预测模型的原理即是通过不同类型作物品种在不同纬度不同播期条件下的种植试验,对不同作物籽粒品质指标与纬度、海拔、抽穗后温度和太阳辐射等气候生态因子的相互关系予以解析和量化,并引入不同品种的遗传参数,确立影响籽粒品质指标积累的主要气候生态因子函数,并使用权重系数来进一步修订各气候生态因子对籽粒品质指标的作用,构建出基于生态效应(主要气候生态因子函数)的粮食作物籽粒品质预测模型,为优质农产品生态区划与调优栽培管理奠定基础^[52,57,60]。本系统所采用的优质农产品区划模型来自江苏省信息农业高技术研究重点实验室的研究成果,该模型综合考虑到了品种因素、气候因素及地理因素对稻麦籽粒品质的影响,因而具有较强的普适性和通用性。

3.4.2 安全农产品区划模型

安全农产品可认为是优质农产品、绿色农产品和有机农产品的代名词，它依赖于农产品的清洁生产，而农产品的安全清洁生产又受农产品的生产、加工和销售的全程质量控制^[58]。其中生产基地环境质量的优劣是构建农产品安全清洁生产系统的基础和根本。因此，通过对环境质量的优劣给予定量或定性的描述，科学地评价生产基地的环境质量，可为农产品安全生产的生态区划提供基础依据，并对发展清洁生产和质量农业具有重要的意义。

目前使用较多的农业环境质量评价方法为综合指数法，但其经验性强，人为因素大，影响了实际评价效果^[59,60]。而模糊综合评价方法逐渐受到人们的重视，该方法考虑到了实际存在的环境质量界限模糊性的特征，打破了以往仅用一个确定指标来评价环境质量的缺陷，并能消除由于监测误差所带来的对评价结果的影响，表现出了较强的科学性和准确性。但已有的模糊综合评价法的通用性较差，评价因子较少；且农田生产环境质量评价工作牵涉面广、信息处理量大，仅靠传统的管理和手工计算方式已远远不能满足当前环境质量评价工作的需要。本系统所采用的安全农产品区划模型来自江苏省信息农业高技术研究重点实验室的研究成果，该模型运用系统学原理和数学建模技术，采用多级模糊综合评价法作为农田生产环境质量评价方法，借鉴环境质量综合评价的研究进展，建立了农田生产环境质量评价模型。

第三章 农田土壤肥力评价模型的构建

土壤是在自然、社会、经济等多项因素综合作用下形成的，为一随时间、空间变化的动态系统。其中肥力又是其最重要的属性特征。土壤肥力包括两个有机的结合成分：土壤的养分状况和土壤在供应植物生理所需物质时所处的环境条件。土壤养分状况包括有机质以及大量的营养元素等，而环境条件则指物理、化学和生物环境条件 3 个方面。对土壤特性，尤其是对土壤肥力属性的充分了解是管理好土壤养分和合理施肥的基础。长期以来，我国施肥技术一直停留在经验性施肥阶段，不仅没能充分发挥肥料资源应有的作用，而且加剧了土壤环境的污染，同时增加了农业生产成本。进行土壤肥力的综合评价研究，对保持土壤健康，维持农业生态系统生产力，综合治理中、低产土壤，建立高产稳产农田、促进农业持续稳定和协调发展具有重要的意义^[28]。

本研究在综合考虑土壤有机质、全氮、全磷、碱解氮、速效磷、速效钾、pH、阳离子交换量等指标的基础上，采用层次分析法确定土壤肥力评价因子的权重，并对评价指标建立相应的隶属函数，通过计算其隶属度，从而求得每个评价单元的土壤肥力综合指标值，并依据综合值确定土壤肥力等级，从而为农业高新园区的精确管理奠定了基础。

1 评价指标的选择及其评价指标权重的确定

1.1 评价指标的选择

土壤肥力是土壤的物理、化学和生物性质以及形成这些性质的一些重要过程的综合体现，反映着一定的空间和实体。依据金华的具体实际，并结合其它研究成果和专家意见，本文主要选择土壤有机质、全氮、全磷、碱解氮、速效磷、速效钾、土壤质地、pH、阳离子交换量、耕层厚度共 10 个指标进行评价（图 3-1）。

1.2 评价指标权重的确定

本研究采用层次分析法（AHP）来确定土壤肥力评价因子的权重^[59-62]。首先参照土壤学知识，咨询有关专家，得到 A—B、B—C 判断矩阵，再用方根法求出每个矩阵的特征向量，然后计算判断矩阵最大特征根 λ_{\max} 的值，并对各指标总排序进行一致性检验，一致性检验公式见方程（3-1），表 3-1 为计算的土壤

肥力评价指标的权重值。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

(3-1)

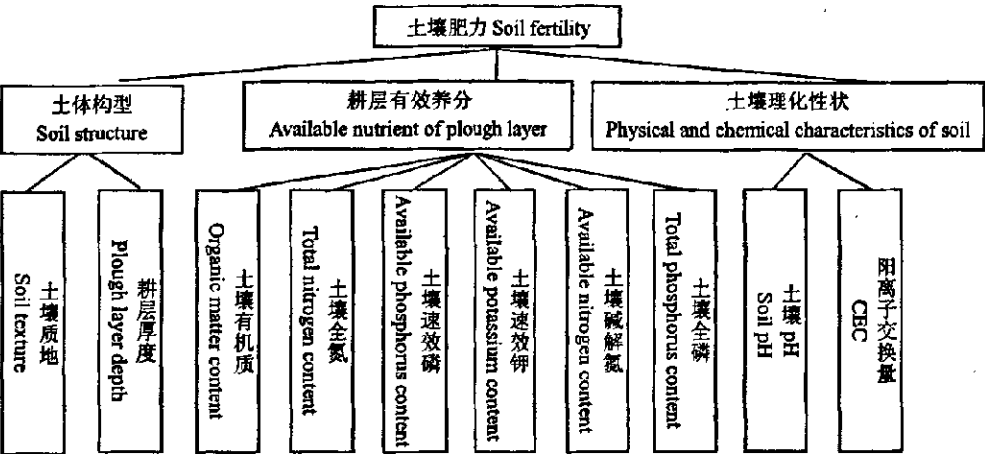


图 3-1 土壤肥力评价因素

Fig.3-1 Evaluation factors of soil fertility

表 3-1 土壤肥力评价指标的权重值

Table 3-1 Weight value of evaluation index of soil fertility

评价指标	土壤质	耕层厚度	碱解氮	全氮	全磷	速效磷	速效钾	有机质	阳离子交	pH
Evaluation	地	Plough	Available	Total	Total	Available	Available	Organic	换量	
index	Soil	layer	nitrogen	nitrogen	phosphor	phosphor	potassiu	matter	CEC	
	texture	depth	content	content	us	us	m content	content		
					content	content				
权重										
Weight	0.1529	0.1251	0.1472	0.0978	0.0652	0.0954	0.1033	0.0745	0.0856	0.1152
value										

2 隶属函数的确定

土壤肥力评价运用模糊数学的隶属度原理，求得各单项指标的隶属度值，以此确定各评价因子的评价值，并依其权重得出各土壤的等级。隶属函数一般分为偏大型、中间型、偏小型、散点型等 4 种类型，这里选择偏大型和中间型。属 S 型隶属函数（图 3-2）的土壤肥力指标有全氮、速效钾、速效磷、有机质、耕层厚度等，其计算见方程（3-2）；属抛物线型隶属度函数（图 3-3）的土壤肥力指标为 PH、CEC，其计算见方程（3-3）。

$$f(x)=\begin{cases} 1.0 & x \geq x_2 \\ 0.9(x-x_1)/(x_2-x_1)+0.1 & x_1 \leq x < x_2 \\ 0.1 & x < x_1 \end{cases} \quad (3-2)$$

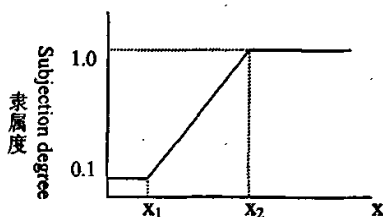


图 3-2 S 型隶属函数曲线

Fig.3-2 S-curve of subjection function

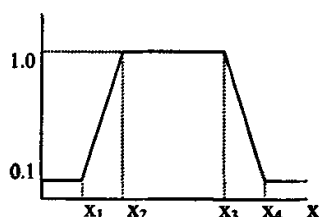


图 3-3 抛物线型隶属函数曲线

Fig.3-3 Parabolic curve of subjection function

$$f(x)=\begin{cases} 1.0-0.9(x-x_3)/(x_4-x_3) & x_3 < x \leq x_4 \\ 1.0 & x_2 < x \leq x_3 \\ 0.1+0.9(x-x_1)/(x_2-x_1) & x_1 \leq x < x_2 \\ 0.1 & x < x_1 \text{ 或 } x > x_4 \end{cases} \quad (3-3)$$

方程（3-2）和（3-3）中， $f(x)$ 为某评价指标的隶属函数； x 为某评价指标的实测值； x_4 和 x_1 分别为作物能够生长的上、下临界值； x_2 和 x_3 为作物最适宜生长的上、下临界值；各指标的 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 的取值分别见表 3-2 和表 3-3。

依据上述方程（3-2）和（3-3），计算出各项评价指标的隶属度，其值在 0.1—1 之间，值越高表明越适宜作物生长。

表 3-2 S 型隶属函数曲线临界值

Table 3-2 Critical values of each index in subjection function of s-type

临界值	耕层	有机质	全氮	碱解氮	全磷	速效磷	速效钾
Critical	厚度	Organic	Total	Available	Total	Available	Available
value	Plough	matter	nitrogen	nitrogen	phosphorus	phosphorus	potassium
	layer	content	content	content	content	content	content
	depth						
X ₁	10	20	0.5	75	0.2	5	50
X ₂	20	40	1.5	150	1.0	15	180

表 3-3 抛物线型隶属函数曲线临界值

Table 3-3 Critical values of each index in parabolic subjection function

临界值	Critical value	pH	EC
	X ₁	4.5	0.15
	X ₂	6.5	0.25
	X ₃	7.5	0.35
	X ₄	8.5	0.45

不同的土壤质地对土壤肥力的影响是不一样的。设定重壤和中壤土的土壤质地的隶属函数为 1，轻壤和砂壤的土壤质地的隶属函数为 0.9，轻粘和中粘的土壤质地的隶属函数为 0.8，重粘、紧砂和松砂的土壤质地的隶属函数为 0.6。

3 综合评分、定级

在利用隶属度函数和层次分析法分别求得各单项指标的隶属度值及其权重的基础上，利用如下模型对农田土壤养分进行综合评分：

$$Y_i = \sum_{j=1}^n P_j X_{ij} \quad i=1,2,3,\cdots n, j=1,2, \cdots m。$$

其中 Y_i 为评价单元 i 的土壤质量综合评价值， P_j 为第 j 个评价指标的权重， X_{ij} 为评价单元 i 在第 j 个评价指标上的隶属度值。

4 模型的测试与检验

以金华市现代农业高新园区为例对土壤肥力等级评价模型进行了测试与检验。测试与检验在第 2 次土壤普查绘制的 1: 25000 土壤图基础上进行, 野外采样平均以 25hm^2 取一个样, 全场共采集 110 个样点, 然后在地形图上标注采样位置 (图 3-4), 实验室分析了土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、速效磷、速效钾、pH、阳离子交换量 (CEC) 等, 最后采用土壤肥力等级评价模型对土壤肥力的各项指标进行数值计算, 表 3-4 为利用上述模型求得的浙江省金华市现代农业高新园区的土壤肥力综合评价等级。图 3-5 金华市农业高新园区土壤肥力等级图。

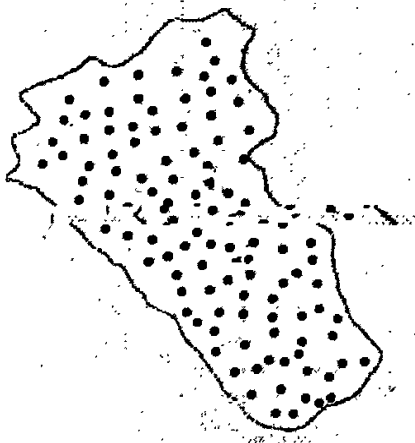


图 3-4 浙江省金华市现代农业高新园区采样位点图

Fig. 3-4 Location map of soil sampling in Jinhua Modern Agriculture High-New Garden of Zhejiang Province

表 3-4 各土种综合评价及肥力定级

Table 3-4 Evaluation value and fertility grade of different soil types

土壤类型 Soil type	面积 (100*hm ²) Area	养分等级 Grades of fertility
黄砂泥 HSN	5212	4
紫土 ZT	44300	1
新黄筋泥田 XHJN	3949	3
泥沙田 NS	10150	2
砾心泥沙田 LXNS	10852	3
老黄筋泥田 LHN	8907	2
网坤老黄筋泥 WLHN	4216	3
紫泥沙田 ZNS	1496	1
砾质紫红泥 LZHN	28620	2
其他 Others	4327	



图 3-5 金华市农业高新园区土壤肥力等级图

Fig. 3-5 The Map for Soil Fertility in Modern agricultural technology park of Jinhua

第四章 作物生产管理信息系统的构建与实现

1 系统开发环境与工具

1.1 硬件开发环境

开发系统所需的硬件主要是计算机及与之相连的外围 GIS 专用设备,如数字化仪、解析测图仪、扫描仪等。计算机的主要配置:CPU, AMD Athlon XP2500+, 内存, 1GM 及以上, 64M 显卡。

1.2 软件开发工具

1.2.1 GIS

目前主要的 GIS 商品化软件有 ARC/INFO, MapInfo 桌面地图信息系统软件, MAPGIS 软件, GeoStar 软件, SuperMap 等。

ARC/INFO 是美国环境系统研究所研制的 GIS 软件,也是世界上应用最广泛的 GIS 软件之一,它提供了用于地理数据的自动输入、处理、分析和显示的强大功能。目前已成功应用到包括自然资源管理、自动制图、设施管理、城市和区域规划、人口和商业管理等类别的一百多个领域。其主要特点是:

- (1) 采用地理关系数据模型;
- (2) 提供极强的空间操作和分析能力;
- (3) 采用模块结构,使用灵活,易于扩充;
- (4) 提供宏命令语言和菜单方式,支持二次开发;
- (5) 提供 38 种地图投影方式,能够进行不同投影之间的坐标变换;
- (6) 具有存储和管理大量数据的能力;
- (7) 开放式结构,提供直接与多种数据库联接的接口;
- (8) 具有良好的兼容性,能与 25 种不同系统的数据格式相互转换;
- (9) 独立于硬件,支持最广泛的硬件平台;
- (10) 提供很方便的用户界面能力,用户能调用本系统的程序、系统外部的应用程序和操作系统资源;
- (11) 广泛支持当今各种工业标准,包括操作系统、图形用户界面、商用数据库、网络协议标准、空间交换格式和图形输出格式。

MAPGIS 是中国地质大学(武汉)信息工程学院,在其彩色地图编辑出版系统 MAPCAD 的基础上,发展起来的一套实用地理信息系统。MAPGIS 系统的

总体结构分为输入、图形编辑、库管理、空间分析、输出及实用服务六大部分。同传统的 GIS 软件相比, MAPGIS 具有如下特点: 具有直观实用的属性动态定义、编辑功能和多媒体数据、多重数据结构的属性管理能力; 采用矢量与栅格数据并存的结构, 两种数据结构的信息可以方便有效地相互转换和精确套合; 具有功能较齐全的空间分析功能, 以及拓扑空间查询和三维实体叠加分析能力; 电子沙盘子系统提供了强大的三维地形可视化环境, 利用 DEM 数据与专业图像数据, MSIFLY 可生成近实时的三维透视景观。另外, MAPGIS 还提供了开, 可方便地进行二次开发。

吉奥之星 (GeoStar) GIS 软件系统是武汉测绘科技大学地理信息系统研究中心研制成功的, 于 1986 年问世。其特点是采用面向对象技术, 一类对象对应着一系列操作, 各类对象的联系便建立了吉奥之星的面向对象的空间数据模型。GeoStar 是一个模块化集成环境, 它将空间信息的录入、属性数据库定义、图形编辑、建立空间数据拓扑关系、地图符号化、地图输出、图象处理、空间查询、分析等模块集成在同一环境中, 并支持多媒体技术, 能接受多种数据源, 能提供多种空间数据输出格式, 能满足不同用户的需求。它的主要功能包括工程管理、图形数字化、图形编辑、建立拓扑关系、属性数据输入与查询、符号设计、地图制图、图象处理与遥感分类、空间分析、数据交换功能、输入输出设备的安装与设置。

MapInfo 软件是美国 MapInfo 公司开发的 GIS 软件。它是一个面向中小型用户的桌面地理信息系统。MapInfo 软件充分体现了小型、灵活、简单的特点。在用户界面上, MapInfo 利用 Windows 的功能, 提供符号化的菜单和开发工具, 使用户易于掌握。在数据库接口上, MapInfo 可以直接接受 DBASE 和 FOXBASE 的数据格式而无需中间加工, 在图形上还可与 AUTOCAD、ARC/INFO、Intergraph MGE 的数据实现共享。在数据的可视化方面, MapInfo 具有很大的灵活性, 每一章地图都可以用不同层次的图叠加而成, 并且通过窗口的缩放功能观察整体和局部的细节。MapInfo 除了一般的查询、显示、绘图功能外, 还具备地理信息系统的空间分析功能如叠加分析、缓冲区分析、数值及统计计算等。此外, 二次开发工具 MapBasic 和 MapInfo MapX 的 OCX 控件等新产品的使用, 使其功能和产品得到不断发展和完善。

SuperMap 是北京超图公司自主研发的 GIS 开发平台, 已连续被评为“国产 GIS 软件测评推荐软件”。测评专家认为“该软件是地理信息应用的专业软件, 该软件具有丰富的地图表现能力, 多数据源集成, 开放式体系结构, 服务器集群支持, 负载均衡, 多种开发模式, 系统规模可调, 扩展能力较强。系统性能

稳定, 商品化程度较高”。

考虑到国产软件的发展和前景以及良好的技术支持服务, 本系统采用了北京超图公司的 SuperMap 软件^[10]。

1.2.2 数据库管理系统

数据库管理系统是整个网络中信息存贮与检索的关键部分, 也是农业信息辅助决策的基础^[63-65]。目前服务器端的数据库管理系统目前主要有:

(1) Access: 这是由微软提供的一套基于文件管理的数据库管理系统, 它主要适用于数据量不大的信息系统。同时, 该数据库的安全性差, 不利于信息系统的安全存取与授权访问管理。

(2) My SQL: 这是一套基于开放源代码规范的关系数据库管理系统, 它在 Linux 及 Windows 平台上都有产品。它不是商业化的数据库软件。

(3) SQL Server: 基于 Windows 系列操作系统的数据库管理系统, 是一种高性能、多用户的关系数据库管理系统, 支持高容量的事务处理系统以及决策应用支持系统, 用户可以实施大范围的分布信息处理。可以进行并行数据管理、大型数据库以及与 OLE 的技术的集成。

(4) Oracle: 由甲骨文公司推出的关系型数据库管理系统, 也是最专业化的 DBMS 之一。

本系统从数据库容量、简便性、产品化稳定发展等方面考虑, 选用 SQL Server 作为系统的数据库管理系统。

1.2.3 软件开发工具

(1) Visual Basic: 微软公司开发的可视化开发工具。特点是编程简单, 容易学。本系统中采用的由江苏省信息农业高技术研究重点实验室开发的农田生产环境质量评价模型组件是用 Visual Basic6.0 编程实现的。

(2) Visual C++: 微软公司开发的面向对象的可视化开发工具, 在面向操作系统及网络通讯等底层操作开发时使用 Visual C++, 发挥其结构化、易扩充、易维护、高性能的特点。本系统中采用的由江苏省信息农业高技术研究重点实验室开发的作物管理知识模型组件是用 Visual C++ 编程实现的。

(3) Delphi: Borland 公司推出的面向对象的可视化开发工具, 其特点是既具有 VB 简单易学、快速构建系统界面的特点, 同时又兼有 C++ 网络通讯、操作系统底层访问效率高的特点, 对数据库还支持 BDE、ADO、ODBC 等多种访问接口。

(4) ASP: ASP 是服务器端脚本编写程序, 可以创建和运行动态、交互的 Web 服务器应用程序。ASP 还可以组合 HTML 页、脚本命令和 ActiveX 组件创建交互的 Web 的功能强大的应用程序^[63]。ASP 应用程序可以通过 ADO 进行数据库

访问连接。ASP 是本系统的主要开发语言。

2 系统的开发与集成

2.1 系统数据库设计

CPMS 系统一个最重要的目标就是保证数据的准确性和完整性,达到系统集成的无缝性。根据系统的结构特点和农业信息的时空性和动态性特点,把数据库分为空间和属性数据库来设计^[64,65,66]。

2.1.1 空间数据库

空间数据库由空间实体及与其相连的属性数据组成,如边界、区域、地点等。空间数据库只将数据按照逻辑类型分成不同的数据层进行组织,CPMS 的地图分为省边界、地区边界、地区中心地、县市中心地共五个图层分别存储,如

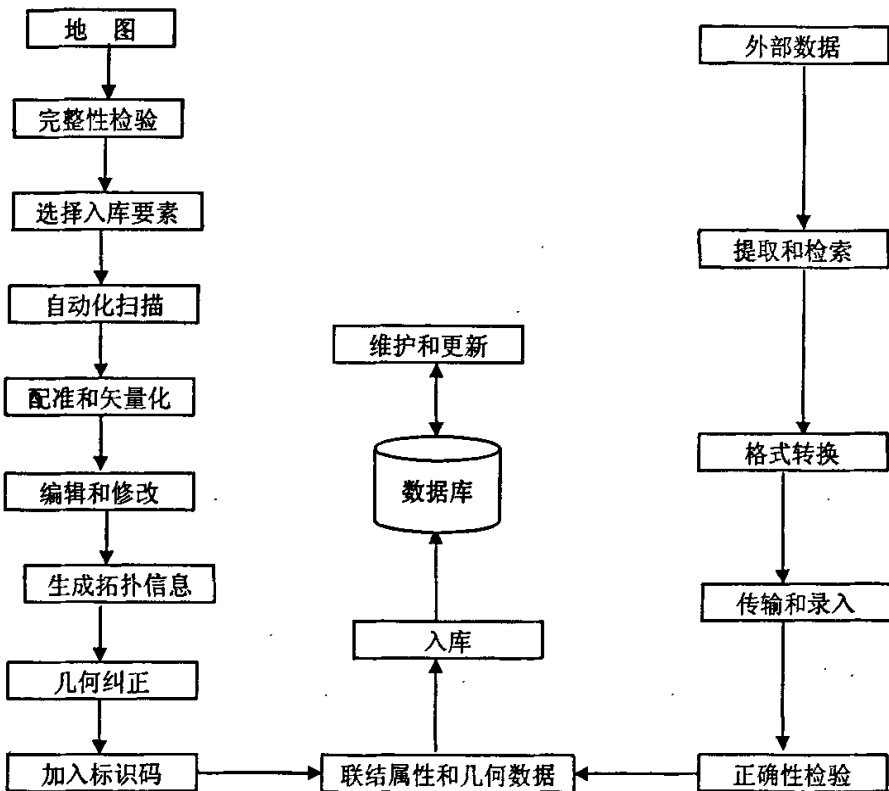


图 4-1 空间数据库建库流程图

Fig.4-1 Space database construction process

果想得到需要地图，将分层地图数据叠置即可。当进行空间分析或处理时，可以提供有关的若干数据层叠加而得到所需要的数据。空间数据库建库流程如图 4-1 所示。

2.1.2 属性数据库

属性数据是指与空间位置没有直接关系、代表实体特定涵义的数据。属性数据即可以是独立于地图的统计数据，也可以是与地图有关的字符或数字，如县名、编码等。另外，反映地物某一方面特征的指标也是属性数据。与空间实体密切相关的属性数据，如县名、面积、周长等，放在空间数据库中，以便于操作；与空间实体相关不密切的数据采用现有的数据库进行管理，以便实现共享。

环境资源信息数据表包括土壤资源信息表、地区概况信息表和气象资源信息表。

土壤资源信息表包括土壤水分和养分状况的数据（如土壤有机质、氮、磷、钾等）、土壤类型、耕层厚度、PH 值以及土壤其它物理化学特性。

地区概况信息表存储各地区的地区编号及地理位置数据，包括地区名称、地区编码、经度起点、经度终点等地理信息。

表 4-1 气象数据表结构

Table 4-1 structure of weather datasheet

序号	字段名称	单位	数据类型	取值范围	默认值	备 注
1	RegionName	—	Nvarchar	—		对应于 Region 表中的相应字段
2	日期	—	Smalldatetime	—	2000/01/01	与上字段合为主键
3	最低气温	℃	Float	[-50,40]	0.0	—
4	最高气温	℃	Float	[-45,45]	25.0	最高气温>最低气温
5	日照时数	小时 (h)	Float	[0,24]	6.0	—
6	降雨量	—	Float	[0,500]	0.0	—
7	SmID	—	int	—	—	非空

气象资源信息表存储各个地区逐日主要气象数据,包括各地的日最高气温、日最低气温、相对湿度、日照时数和日降水量等数据。并在逐日气象数据表的基础上,系统可自动生成逐旬气象表、逐月气象表等(表 4-1)^[67]。

农业科技信息数据表包括品种信息和作物技术管理信息。

品种信息表包括各种主要农作物的品种信息,存储不同作物品种的遗传参数,包括作物名称、品种名称、品种类型、产量及产量结构、品质指标、收获指标、生育天数等等。

作物技术管理信息主要存储各种作物栽培管理措施数据。

社会经济信息数据表包括农村经济信息、农资行情信息和自然灾害信息等。

农村经济信息主要存储农村组织、人口、劳动力;农业产值、农作物播种面积、产量等;农业生产条件;农村经济收入分配和农民收入、消费、生活情况等。

灾情信息主要存储各地区每年的受灾情况,包括灾害名称、受灾面积、受灾程度等。

2.1.3 数据组织

把属性数据和空间数据分开管理,用县市分区域单元代码作为连接两者的关联项,应用 CPMS 特有的数据管理功能,将“空间数据库”与“属性数据库”进行匹配、叠加、转换等一系列处理,生成需要的“分县空间、属性一体化数据库”,实现途径是通过唯一标识字段(SmID)来实现关联,关联结构见图 4-2。

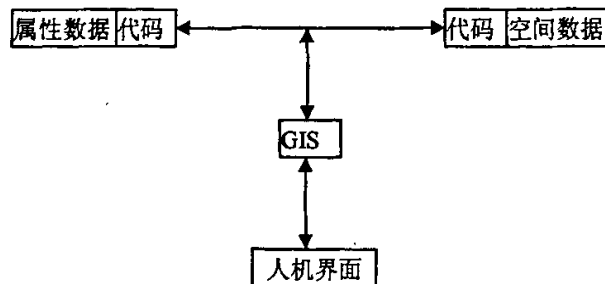


图 4-2 空间、属性一体化数据的关联结构

Fig.4-2 Construction of integrating spatial data and attribute data

2.2 模型组件的编译实现

在已构建的农业管理知识模型（算法）的基础上，按照软件工程和组件化程序设计思想，通过计算机编程语言（Visual Basic6.0, Visual C++），编译实现农业管理知识模型的组件化。构建的模型组件符合 COM 标准，组件具有平台无关性和集成开发便捷的特点，每个组件都是自主的，其独立的功能和接口，用户只需了解和调用相应的功能接口，而无需理解组件内部各功能模块的实现原理。

2.3 系统的集成

以 DreamWeaver MX 2004 作为系统集成开发工具，应用基于 SuperMap IS 的 WebGIS 技术和 B/S 结构的分布式网络平台，结合系统数据库和农业管理知识模型组件，采用 ASP 语言作为集成开发语言，设计实现了基于 GIS 的区域作物生产管理信息系统^[68-70]。

2.4 系统安全性、完整性和访问控制的设计与实现

2.4.1 系统整体安全性保障

早期的信息管理系统作为一种单一用户系统，它的保密性和安全性取决于使用者本身。但随着因特网的不断发展，基于 B/S 模式的信息管理系统虽然有很多优点，但由于它与 Internet 相连，这样的系统面临着更大的安全威胁，病毒和 Hacker 随时可以从 Internet 上入侵，所以基于 B/S 模式的信息管理系统的安全性问题一直上一系统的一个重点需要解决的难题^[24,39]。

（1）基于角色的权限控制模型管理

数据库的权限管理是一项十分艰巨的工作，系统中的用户只有拥有一定的权限，才能进行工作。权限管理的传统做法是将相关权限直接授予用户。所谓权限指的是对数据库执行某种操作的许可，这里用户与权限之间是一种多对多的关系。这种机制对于一个具有诸多用户、诸多权限的数据库系统来说，管理的任务是相当繁重的，而且不灵活，一旦组织的结构或安全需求有所变动，管理员必须跟着进行复杂而繁琐的授权变动，容易出现一些意想不到的漏洞^[56,56]。

基于角色的权限管理的基本特征就是根据安全策略划分不同的角色，对每一个角色分配不同的权限，并为用户指派不同的角色，用户通过角色间接地对信息资源进行许可的相应操作。也就是说，角色是一个已命名的权限集合，将角色授予某用户，那么分派给角色的所有权限将同时授予该用户。角色管理的基本功能模块主要包括组织机构管理、员工管理、职位管理三大部分。

（2）系统数据完整性约束的实现

数据库中数据完整性是指数据的正确性、有效性和相容性，防止错误的数
据进入数据库。正确性是指数据的合法性，有效性是指数据是否属于所定义的
有效范围，而相容性是指同一个事实的两个数据应相同。在管理信息系统中，
如果失去了数据的完整性，数据就失去真实的意义。管理信息系统数据量大、
数据敏感度高，确保数据安全可靠和正确有效是系统开发成功的关键。

(1) 数据库中定义数据的完整性约束是保证数据完整性非常重要的方
法。主要是在数据库中定义表的完整性约束。常见的约束有以下几个：Null or Not
Null（空与非空）、Default、Check、Primary key（主键）等。

(2) 用户数据完整性约束的实现。在用户界面对数据库操作时，如果能
以最大限度控制错误数据的输入，不仅提高数据的完整性，还提高界面的可操
作性，在 ASP 编程中采用函数的方式实现用户层的数据完整性校验，图 4-3。

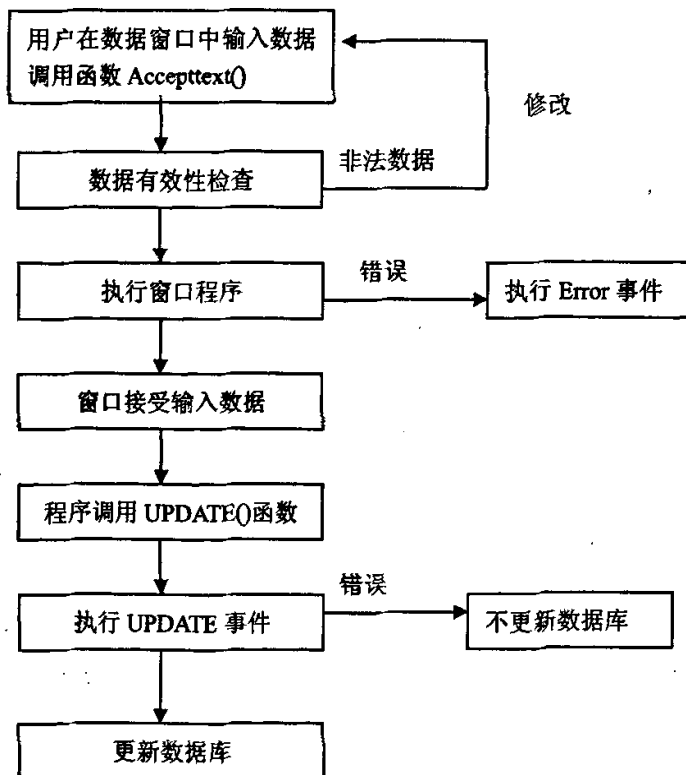


图 4-3 用户层数据完整性约束控制流程

Fig. 4-3 Control flowchart for data integrity of user interaction

3 系统运行环境

CPMS 系统由服务器端和客户端组成,服务器端由应用服务器、数据库服务器、交换机和工作站等设备构成。服务器采用 Windows Server 2003 作为操作系统,采用 IIS5.0 作为 Web 服务器。客户端只要计算机支持 TCP/IP 协议,操作系统为 Windows 2000 以上,IE5.0 以上即可。

4 系统的功能

CPMS 系统实现了区域农业空间信息的规范化管理及不同层次下农业生产的管理决策,包括基本地图操作、信息查询、数据分析、种植制度设计、农作生产力分析、精确农作管理、系统维护及帮助等功能。

4.1 基本地图操作

- (1) 全幅显示:在地图窗口中显示完整地图。
- (2) 地图的放大缩小。
- (3) 图层显示与控制:设置图层的“可显示”和“可选择”属性。设置好图层的可见与可选后,单击“确定”按钮,将会设置该地图的图层属性。
- (4) 面积及距离量算:在地图上单击鼠标左键选择欲测量的起始位置,移动鼠标,选择中间点和终点,最后单击鼠标右键结束选择并显示多边形围绕的面积及距离。
- (5) 地图切换:点击地图列表中的名称,在地图窗口中即可显示相应的地图。
- (6) 地图编辑:可在地图上增加标注点,线和面对象,也可以增加文本对象,也可以设置增加对象的显示风格。

4.2 信息查询

提供政府部门、科研机构、农业工作者查询农业生产领域相关数据、农业生产知识、农村经济状况、市场需求等信息。包括:

- (1) 点位查询。利用交互方式通过点选或拉框选择指定位置,查询相应地理位置的信息。
- (2) 专题查询。可按不同的专题(品种信息、种植信息等)进行分类查询,并建立各类专题图如范围值专题图、独立值专题图、等级符号图等。
- (3) 逻辑条件查询:根据用户给定的一个或多个条件,查询符合条件的属

性信息，并在地图上标住出符合条件的区域位置。

4.3 数据分析

提供气象、土壤、品种特性、农村经济等数据的统计分析功能。如提供某地某时段内气象数据的各种积温、雨日数、平均气温、日较差等数据的统计功能，并进行时空变异分析。

4.4 种植制度设计

模块以优化利用种植业资源为目标，通过解析和综合种植制度指标与生态环境、品种类型及社会经济条件之间的定量化关系，构建了种植制度设计动态知识模型，实现了以下功能：

(1) 作物适应性评价：作物适应性评价是种植制度评价和优化的前提，系统首先根据决策地的气象和纬度数据确定该地可种植的作物；然后根据决策地具体的光照、温度、水分、土壤及社会投入状况等，进行具体作物的气候及土壤适应性评价，并给出综合性适应性评价结果。

(2) 作物组合设计及优化：基于复种知识原理，从热量、水分和水热综合 3 个水平分别计算不同熟制类型下的复种指数，结合作物种植适应性评价结果，为用户进行合理的作物组合设计；并根据种植业生产水平和农产品需求，进行作物结构以及空间布局的优化。

(3) 种植制度效益分析：根据线性趋势分析等数学模型原理，进行种植业系统的风险分析、比较优势分析、种植结构及种植模式的效益分析等。

4.5 农作生产力分析

层次生产潜力分析：该功能包括单作生产力分析和多作生产力分析。首先根据决策地的气象、土壤及社会投入等信息，调用生产潜力估算模型，进行主要种植作物的光合、光温、社会等生产潜力的分析；再根据该地主要的作物种植模式，进行多作生产潜力分析。

农业生产力评价：基于时序和空间分析法，进行农业生产力的效率、结构和趋势分析；以区域优势和线性规划为优化方法，进行农业资源配置的优化。

4.6 精确农作管理

- (1) 空间差异分析：对某区域农田状态因子在空间位置上进行差异比较与分类，即以具体区块为空间管理的基本单元，可以生成基于管理单元的作物生长状况、土壤养分状况等分布图。
- (2) 土壤肥力等级评价：以土壤有机质、全氮、全磷、碱解氮、速效磷、速效钾、pH、阳离子交换量等数据为基础，以土壤肥力等级评价模型为支撑，以 GIS 为平台，输出土壤肥力综合评价等级专题图。
- (3) 管理处方生成：以土壤、气象数据及作物遗传参数为基础，以作物管理知识模型为支撑，为用户进行产前、产中决策管理。产前决策，用户只需输入目标产量，系统就自动调用平衡施肥模型和密度确定模型，读取土壤数据库、气象数据库、模型参数库，生成基肥和密度处方；产中决策，根据作物生长状况监测数据，调用诊断相关模型，得出 N、P、K 追肥处方图。

4.7 系统维护

系统根据不同的用户授予不同的访问权限，用户可以在权限范围内进行数据的浏览、查询、增删及修改等操作，并在一定周期内进行数据的备份，形成历史数据的存储。

4.8 系统帮助

系统提供了详细的用户使用帮助文档，对系统功能操作进行了详细的描述，并提供了相关图片引导用户使用。

5 系统的特点

- (1) 适应性广。系统提供农村经济和农业生产各个领域的数据和知识，并提供多种智能统计分析及预测功能，适合各类农业人员包括政府部门、科研机构、农业科技人员、农民等使用。
- (2) 使用方便。操作简便直观、维护简单。
- (3) 完整的安全控制功能。提供用户权限、数据加密，并结合操作系统、数据库的安全管理机制，为系统正常运转提供安全保障。
- (4) 创新性。通过引入农业管理知识模型能为网络拥护提供农业生产过程中的辅助决策及评价，实现了农业信息高效、便捷的查询以及结果的可视化显示。

(5) 灵活的系统体系构架。良好的系统开放能力和可扩展性，系统各设计模块可独立存在。灵活方便，可根据各特定需求，快速扩充功能模块。

6 系统的测试与应用

6.1 系统的测试

随着软件产品的开发规模不断扩大，数量不断增长，对系统测试的工作要求也越来越不断提高，随之要求是开发出更高质量的应用软件。在应用软件的开发中，除了精细设计、严格按软件工程方法实施外，还需要对最终软件系统进行测试。软件测试就是在软件投入运行前，对软件需求分析、设计规格说明和编码的最终复审，是软件质量保证的关键步骤。软件测试是为了发现错误而执行程序的过程，通过测试，才能发现软件可能存在的问题，才能发现开发出来的软件产品与最初的需求是否一致。

6.1.1 软件测试种类

软件测试在软件生存周期中占有非常突出的重要地位，究其原因是多方面的。一方面是因为它能对软件质量进行系统的、完整的和准确的评价；另一方面，测试活动所占用的时间、花费的人力和经费在软件开发中占有很大的比重。根据统计，如果我们把维护阶段也考虑在内，在整个软件生存期，估计有 50% 的时间和成本花在测试工作上。如果不懂得有效地进行测试、改错，那么就可能花很高的代价，所以我们必须学会测试，前提就是选择合适的测试方法。目前常见的测试种类如下表所示^[71-72]。

表 4-2 常见的软件测试种类
Table 4-2 Several familiar types for software test

名 称	说 明
黑盒测试	基于软件需求，而不是基于软件内部设计和程序实现的测试方式。
白盒测试	基于软件内部设计和程序实现的测试方式。
单元测试	主要测试软件模块的源代码。一般由开发人员而非独立测试人员来执行，因为测试者需要懂得该单元的设计与程序实现，测

	试者可能需要编写额外的测试驱动程序。
集成测试	将一些“构件”集成一起时，测试它们能否正常运行。这里的“构件”可以是程序模块、客户机或服务程序等。
功能测试	测试软件的功能是否符合功能性需求，通常采用黑盒测试方式。一般由独立测试人员执行。
系统测试	测试软件系统是否符合所有需求，包括功能性需求与非功能性需求。一般由独立测试人员执行，通常采用黑盒测试方式。
回归测试	错误被修正后或软件功能、环境发生变化后进行的重新测试。回归测试的困难在于不好确定哪些内容应当被重新测试。
验收测试	由客户或用户执行，测试软件系统是否符合需求规格说明书。
负载/压力测试	测试软件系统的最大负载，超出此负载软件可能会失常。
性能测试	测试软件在各种状况下的性能，如在正常或最大负载下的状况。
易用性测试	测试软件是否易用，主观性比较强。一般要根据很多用户的测试反馈信息，才能评价易用性。
安装与反安装测试	测试软件在“全部、部分、升级”等状况下的安装/反安装过程。
恢复测试	测试该系统从故障中恢复过来的能力。
安全性测试	测试该系统防止非法侵入的能力
兼容性测试	测试该系统与其它软件硬件兼容的能力
比较测试	通过与同类产品比较，考察该系统的优点、缺点。
Alpha 测试	一种先期的用户测试，此时系统刚刚开发完成，把用户请到开发方的场所来
Beta 测试	一种后期的用户测试，此时系统已经通过内部测试，在一个或多个用户的场所进行测试。大部分错误已经改正，即将正式发行。

6.1.2 系统测试步骤

系统测试过程必须按步骤进行，每个步骤在逻辑上是前一个步骤的继续。本系统的测试按实施步骤可划分为：单元测试、集成测试、系统测试和验收测试。这也是一种“从小到大”、“由内至外”、“循序渐进”的测试过程，体现了“分

而治之”的思想。

(1)单元测试

单元测试的测试幅度最小,即在系统开发期间,由本系统研发小组及领域专家采用白盒方式对系统源代码进行跟踪测试,主要测试各个功能模块是否符合系统的设计思想,并及时作出调整。

(2)集成测试

集成测试界于单元测试和系统测试之间,在系统开发期间,由本系统研发小组及领域专家采用白盒加黑盒的方式对系统源代码进行跟踪测试,主要测试各个功能模块是否符合系统设定的目标及设计要求,并对缺陷程序进行修正。

(3)系统测试

系统测试是从系统的角度对软件功能进行测试,验证软件实现的正确性。当系统开发完毕后,需要进行全面的系统测试,检验是否达到了系统研制任务书的功能和性能要求。本系统由本实验室成立的独立测试小组采用黑盒测试方式执行系统测试,其目的是检查系统是否符合软件需求。系统测试的主要内容有:功能测试、性能测试、健壮性测试、用户界面测试、安全性测试、压力测试、可靠性测试、安装/反安装测试等,其中功能测试和性能测试为测试的重点。

①功能测试:功能测试就是检查系统的功能是否正确,依据系统计划书及使用说明书,对系统功能进行正确性检验。方法是构造一些合理输入(在需求范围之内),检查输出是否与期望的相同。如果两者不一致,即表明功能有误。

②性能测试:性能测试即测试系统运行的能力,一是为了检验性能是否符合需求,二是为了得到某些性能数据,如地图出图速度、信息查询速度,系统运行稳定性参数。

(4)验收测试

验收测试与系统测试非常相似,主要区别是测试人员不同,验收测试由普通用户执行。

6.2 系统实例分析

6.2.1 案例区概况

(1)浙江省概况

浙江大陆总面积 10.18 万平方公里,为全国的 1.06%,是中国面积最小的省份之一。浙江地形复杂,山地和丘陵占 70.4%,平原和盆地占 23.2%,河流和

湖泊占 6.4%，耕地面积仅 208.17 万公顷，故有“七山一水两分田”之说。浙江位于我国东部沿海，处于欧亚大陆与西北太平洋的过渡地带，该地带属典型的亚热带季风气候区。受东亚季风影响，浙江冬夏盛行风向有显著变化，降水有明显的季节变化。由于浙江位于中、低纬度的沿海过渡地带，加之地形起伏较大，同时受西风带和东风带天气系统的双重影响，各种气象灾害频繁发生，是我国受台风、暴雨、干旱、寒潮、大风、冰雹、冻害、龙卷风等灾害影响最严重地区之一。浙江气候总的特点是：季风显著，四季分明，年气温适中，光照较多，雨量丰沛，空气湿润，雨热季节变化同步，气候资源配制多样，气象灾害繁多。浙江年平均气温 $15\sim 18^{\circ}\text{C}$ ，极端最高气温 $33\sim 43^{\circ}\text{C}$ ，极端最低气温 $-2.2\sim -17.4^{\circ}\text{C}$ ；全省年平均雨量在 980~2000 毫米，年平均日照时数 1710~2100 小时。

(2) 金华市概况

金华地处浙江中部，为省辖地级市，东经 $119^{\circ}14'\sim 120^{\circ}46'$ ，北纬 $28^{\circ}32'\sim 29^{\circ}41'$ 。全市土地总面积 1.09 万平方公里，人口 451.70 万人。金华地处沿海开放城市的扇形腹地，处于以上海为中心的长三角经济圈南翼，是浙江重要的交通枢纽和中西部的中心城市。金华地处丘陵盆地，是典型的中亚热带季风气候。全年市区日照时数为 1773.3 小时，降水量为 1396.9 毫米，平均气温为 18.2 摄氏度。气候温和，雨量充沛，物产丰富，农业发达。全市现有耕地面积 248.5 万亩，园地面积 96 万亩，到 2006 年底止，全市有 141 乡（镇、街道），4954 个村，农业人口 356 万人。境内层状的地貌结构和立体式的气候条件，为孕育形成丰富多采的农业名特产品提供了得天独厚的环境，农产品品种丰富，特色产品多。主要农产品有粮、棉、油、茶、桑、果、蔬、甘蔗、席草、食用菌、中药材、花卉苗木以及生猪、奶牛、山羊、鸡、鸭、鹅等种类。最近几年为适应市场经济的发展和农业特点，对农业结构作了战略性的调整，提出了大力发展生猪和肉制品、奶牛乳品、水果蔬菜、花卉苗木、中药材和食用菌、茶叶六大优势产业，收到了良好的效果。

金华市地貌主要受地质构造的控制，构成了南北高、中间低的基本格局，土壤母质白垩纪方岩组古河湖相沉积物，质地偏砂，土壤呈酸性偏中性，土壤类型为红壤、黄壤、紫色土、石灰岩土、潮土和水稻土六大土类及所属的亚类土种。

6.2.2 系统数据库建设

(1) 空间数据库

收集了浙江省分县市行政区划电子地图，建立了浙江省分县市的空间数据表。收集了浙江省金华市科技示范园区的电子地图，并建立了其空间数据表。

(2) 属性数据库

以浙江省分县市的气象、土壤、品种、农村经济信息、农资行情信息表等数据为基础建立浙江省区域化的相关属性数据表。

以金华市第二次土壤普查数据为基础，建立金华市土壤肥力背景值。包括土壤有机质、酸碱度、N、P、K 等信息。

6.2.3 系统实例分析的部分结果

以浙江省部分县市的气象、土壤、品种和生产资料为基础，对系统进行了初步的测试与应用（图 4-4~4-7），实现了系统设计的主要功能，为在不同生态区域和生产系统下的示范应用奠定了基础。

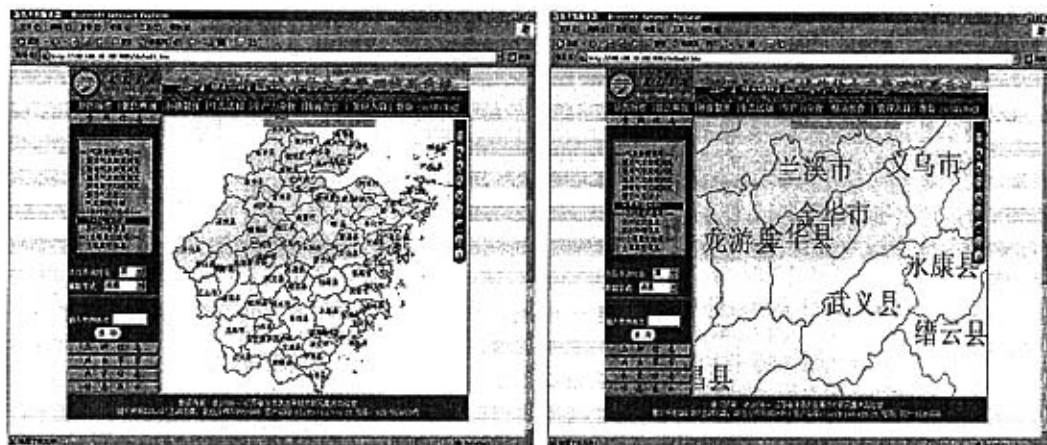


图 4-4 系统输出的界面。

Fig. 4-4 Interface of CPMS

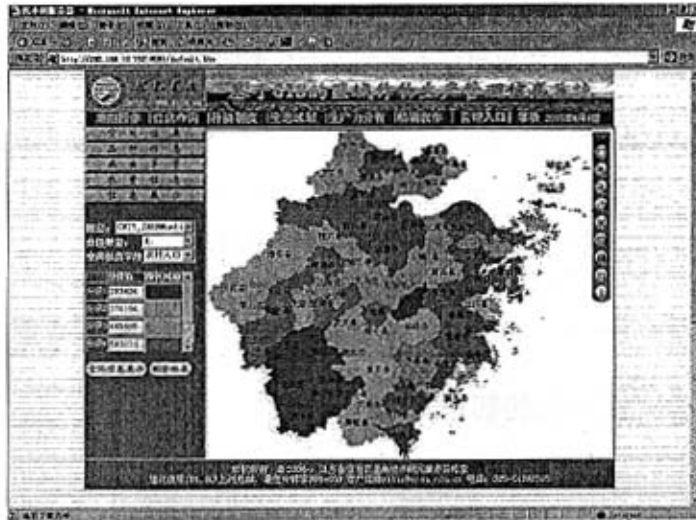


图 4-5 浙江省 1990 年农村人口分布图

Fig 4-5 Countryside population distributing map of Zhejiang Province in 1990

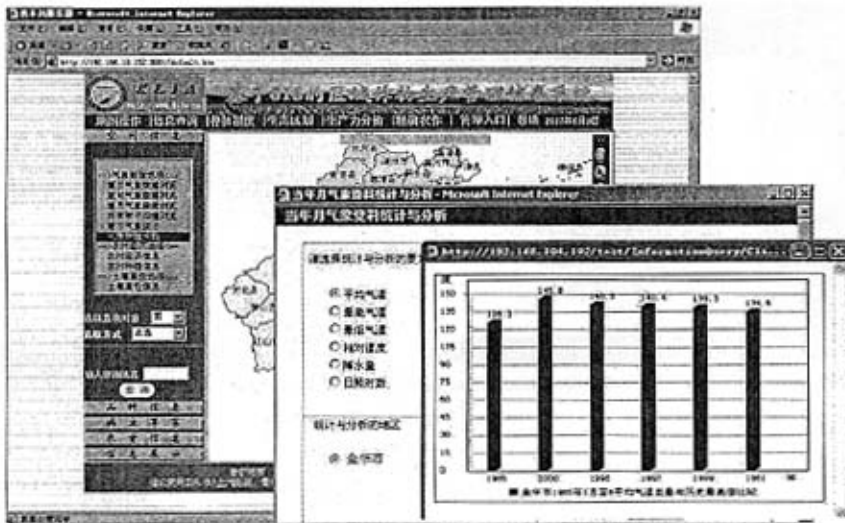


图 4-6 金华市气温数据柱状图

Fig.4-6 Histogram for the temperature of Jinhua City

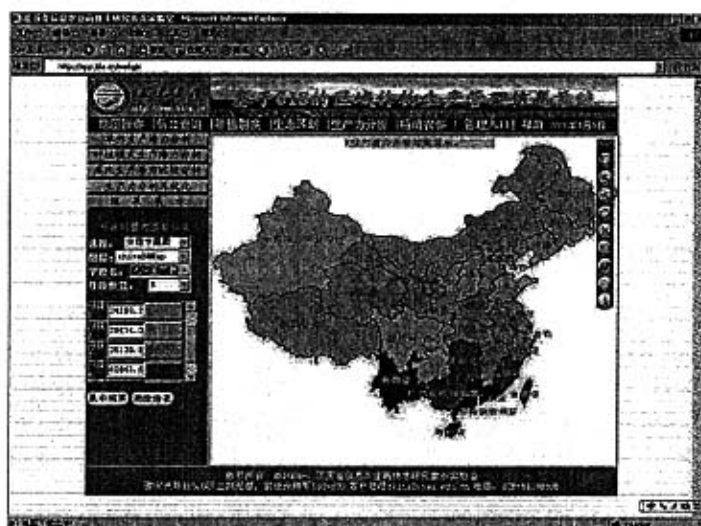


图 4-7 中国光合生产潜力分布图

Fig. 4-7 Sunshine potential production distributing map of China

结果显示,采用四层 B/S 结构、面向对象编程技术和软构件设计方法,代码重用性好,运行效率高。系统以浏览器为界面,通过下拉菜单、工具条、图标、图形及表格等与用户交互,界面参数输入、模型运行结果与决策信息的生成等操作通过鼠标或键盘即可完成,操作简单、人机界面友好。

第五章 讨论与结论

1 讨论

本研究在系统工程思想指导下,根据系统的设计目标及要求,综合应用农学、土壤学、生态学、地理科学、环境科学、统计学以及计算机科学等学科的基本理论与方法。通过广泛收集和了解与农业生产相关的气象数据、品种数据、土壤数据、农村种植经济数据及地图等数据的特征,建立了包括属性数据和空间数据的农业信息数据库;其次,在江苏省信息农业高技术研究重点实验室已有研究工作的基础上,通过总结、归纳和提炼农业生产管理决策及评价理论与技术成果,按照软件工程和组件化程序设计思想,研制开发了农业管理知识模型;最后,进一步研究了知识模型、GIS 和数据库的耦合与集成的机制和方法,采用 ASP 语言作为系统集成开发语言,设计实现了具备基本地图操作、信息查询、数据分析、种植制度设计、农作生产力分析、精确农作管理、系统维护及帮助等功能的基于 GIS 的区域作物生产管理信息系统。

1.1 系统的内涵与特征

对于千变万化的自然资源和生态环境以及错综复杂的农业生产过程,农业管理部门和农业技术人员越来越多地借助于计算机等信息技术,获取不同尺度、不同时空的农业信息,但是目前的农业信息具有分散性和不规范等缺点,这些信息还不能在农业生产过程中起直接的推动作用。

基于 GIS 的作物生产管理信息系统通过对农业信息的采集、加工、处理,以 GIS 为空间信息管理平台,结合农业管理知识模型,实现了具有时空性和动态性特征的农业空间信息采集、维护、统计与分析、基于空间信息的农业生产管理辅助决策以及信息的可视化输出等功能,从而为农业生产者和决策者提供各种有用的农业信息,并为农业生产的产前、产中和产后提供辅助管理决策服务,提高农业的生产水平和管理水平。同时它作为农业信息化的主要内容和核心,对于促进数字农业的发展具有重要的作用。

1.2 系统设计与开发的关键技术

本文在总结、归纳和提炼农业种植生产理论与技术成果的基础上,运用系

统学方法和数学建模技术,构建和引用了具有较强科学性的区域农业管理知识模型,在此基础上,基于 SuperMap IS 工具,结合 SQL Server 数据库和模型组件技术,采用 ASP 作为系统集成开发语言,设计实现了区域作物生产管理信息系统。

系统采用的结构化、模块化的设计方法,在一定程度上克服了以往管理系统可拓展性差的缺点;所构建和引用的定量化农业种植管理知识模型,克服了传统作物生产管理专家系统地域性和时间性强的弱点。本系统所采用的设计思想及应用的技术大大降低了系统的技术难度和使用成本,所面向的用户既可以是政府管理部门,也可以是农技人员和普通农户。

系统提供了农业信息数据的规范化管理及高效、便捷的查询,农业生产的辅助管理决策,以及结果的可视化输出等功能,操作简单、运行可靠、普适性强。用户通过鼠标操作在地图上即能方便的查询到相关的农业信息,并能对信息进行统计与分析:用户可以根据需求进行信息查询、数据分析、种植制度设计、农作生产力分析、精确农作管理等,过程简单、高效,设计结果可以专题图等形式输出。

1.3 本研究的特色与今后的研究设想

本研究的特色在于(1)系统构建了包括具有属性数据和空间数据的农业信息数据库结构;(2)通过总结、归纳和提炼农业生产管理决策及评价理论与技术成果,运用计算机编程语言,研制开发了部分农业管理知识模型;(3)研究了知识模型、GIS 和数据库的耦合与集成方法,并采用了模块化和构件化的程序设计思想。

1.3.1 模型的完善

模型是本系统的重要内容,包括作物管理知识模型、种植制度设计模型、农作生产力分析模型、土壤肥力等级评价模型。因为本系统所运行的模型,涉及的知识面非常广,模型算法和功能设计方面难免存在一些问题,还需要在今后的研究中,利用不同生态点的资料对模型做进一步的检验、修改与完善。

1.3.2 系统开发与功能的完善

基于 GIS 技术开发设计的农业信息管理系统虽有所研究,但基础较弱,系统的规范化、标准化、通用化的程度低,所形成的系统结构框架和功能模块还存在一些不足之处,如空间数据库与属性数据库的结构设计,都有待于进一步完善。系统中应用的 SuperMap 存在出图速度慢等问题,今后需要对系统作进一

步的升级。

1.3.3 遥感技术的引入

系统的精确农作管理功能涉及到田间作物的苗情监测和诊断工作,但由于目前受设备和手段的限制,还难以快速大范围的应用,今后需要综合运用地面监测技术和空间遥感技术,研究航片或卫片灰度值与地面遥感监测值之间的相互关系,并将研究结果耦合到系统中去,使大范围作物苗情实时监测和快速诊断成为可能。

总之,通过对本系统的进一步改进和完善,系统即能满足不同用户、不同条件下区域农业信息管理及农业区域种植设计,为构建数字化农业信息管理系统提供技术平台。

2 结论

本研究在综合考虑土壤有机质、全氮、全磷、碱解氮、速效磷、速效钾、pH、阳离子交换量等指标的基础上,采用层次分析法确定了土壤肥力评价因子的权重,并对评价指标建立了相应的隶属函数,通过计算其隶属度,从而求得每个评价单元的土壤肥力综合指标值,并依据综合值确定了土壤肥力等级,从而构建了土壤肥力等级评价模型。

由于农业信息具有时空性和动态性的特点,所以将 GIS 技术应用于农业信息管理,建立了具有属性数据和空间数据库的“混合”数据库结构,并将农业种植管理知识模型应用于本系统,设计开发了作物生产管理信息系统。系统实现了基本地图操作、农业信息查询、种植制度设计、农作生产力分析、精确农作管理以及系统维护等功能。

系统在浙江省的测试检验结果表明,系统的结构框架和设计思想符合现代农业信息系统的发展要求,实现了浙江省农业种植信息的规范化和数字化管理,系统操作简单,结果显示直观,在基于空间信息的农业生产管理决策方面表现出了较好的适应性和指导性。

参考文献

1. 薛华成主编. 信息管理系统 (第三版). 北京: 清华大学出版社, 2002, 3
2. 邓晶主编. 管理信息系统及应用实例. 北京: 中国电力出版社, 2003
3. 李旭祥编著. GIS 在环境科学与工程中的应用. 北京: 电子工业出版社, 2003.
4. 曹卫星主编. 农业信息学. 北京: 农业出版社, 2004
5. 陈述彭等. 地理信息系统导论. 北京科学出版社, 1999
6. 郭瑞林等. 我国农业信息化的内涵、现状及发展对策. 农业系统科学与综合研究, 1999, 2: 117~120
7. 李苏. 建立和完善农业信息系统. 农业经济问题, 1998, 11: 56~57
8. 傅洪勋. 中国农业信息化发展研究. 农业经济问题, 2002, 11: 44~47
9. 曹卫星. 作物智能栽培学: 信息科学与作物栽培学的结合. 科技导报, 2000, 139: 37~40
10. 黄杏元, 马劲松, 汤勤编著. 地理信息系统概论. 北京: 高等教育出版社, 2001
11. 李杰等. 国内外农业信息技术发展概况. 天津农林科技, 2000, 4: 36~39
12. Martin F C, Bagger T, Wolfe, *et al*. Using sampling theory to build a more universal forest vegetation database. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2000, 28: 119~132
13. 吕洪利, 武刚, 卢泽洋. 基于 MapInfo 的森林资源空间信息管理系统开发与应用. 北京林业大学学报, 2001, 23 (3): 86~89
14. Pan X, Hesketh J D and Huck M G. A web interface to databases associated with a plant growth simulator. *Computers and Electronics in Agriculture*, 1998, 21: 207~217
15. Tony Lewis. Evolution of farm management information systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 1998, 19: 233~248
16. Jos A.A.M. Verstegen, Ruud B.M. Huirne, Aalt A. Dijkhuizen, *et al*. Economic value of management information systems in agriculture: a review of evaluation approaches. *Computers and Electronics in Agriculture*, 1995, 13: 273~288
17. 薛领, 雪燕. 数字农业与我国农业空间信息网络 (Grid) 技术的发展. 农业信息网络, 2004, 4: 4~7
18. 曹卫星, 朱艳. 作物管理知识模型. 北京: 中国农业出版社, 2005
19. N.A. Lorentzos, A.B.Sidenidis, C.P. Yialouris, *et al*. An integrated spationtemporal system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 1999, 22: 233~242
20. 黄杏元, 马劲松, 汤勤编著. 地理信息系统概论. 北京: 高等教育出版社, 2001
21. 张维明主编. 信息系统集成技术. 北京: 电子工业出版社, 2002

22. 姜旭平. 信息系统开发方法. 北京: 清华大学出版社, 1996: 13~118
23. 温桂琴等. 农业信息网络的构成及运行机制. 农业信息探索, 1997, 1: 16~18
24. 黄冲, 高利. 植保信息管理系统的设计与实现. 计算机与农业, 2002, 7: 9~10
25. 李洪宁. WebGIS 研究及其在城市环境中的应用. 地球学报, 2002, 2: 189~192
26. 施勇峰, 沈悦林. 国内外农业信息化的进展及对杭州的启示. 决策参考, 2002, 5
27. 邝朴生, 蒋文科, 刘刚, 等. 精确农业基础. 北京: 中国农业出版社, 1999
28. 唐惠燕. 网络化农业信息管理系统的构建与实现. 南京农业大学硕士学位论文, 2003
29. 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支持决策系统研究. 中国农业科学, 2002, 35 (7): 883~887
30. Zhu Yan, Cao Weixing, Dai Ting-Bo, *et al.* A dynamic Knowledge Model for Nitrogen Fertilization in Wheat Management. *Agriculture Sciences in China*, 2003,2(8): 850~858
31. Zhu Yan, Cao Weixing, Jiang Dong, *et al.* A dynamic Knowledge Model for design of suitable Sowing Date and Sowing Rate in Winter Wheat. *Agriculture Sciences in China*, 2002,1(10): 1116~1124
32. 余国宏. 基于 Web 数据库的农田信息服务系统. 计算机与农业, 2000, 9: 13~17
33. 李存东, 曹卫星, 李旭, 等. 论作物信息技术及其发展战略农业现代化研究. 1998, 19 (1): 17~20
34. 陈立平, 赵春江, 刘学磐, 等. 精确农业智能决策支持平台的设计与实现. 农业工程学报, 2002, 18 (2): 145~148
35. 王人潮, 史舟, 黄敬峰, 等. 论农业信息系统工程的建设. 浙江农业大学学报, 1999, 25 (2): 111~116
36. 王志春. 信息技术在农业中的应用. 农业与技术, 2000, 20 (5): 1~3
37. 朱艳, 曹卫星, 姚霞, 等. 小麦栽培管理动态知识模型的构建与检验. 中国农业科学, 2005, 38 (2): 283~289
38. 张维明主编. 信息系统集成技术. 北京: 电子工业出版社, 2002
39. 邹小琴. 基于网络的管理信息平台模式的构建. 计算机应用研究, 2002, 1: 38~39
40. 邝朴生, 蒋文科, 刘刚, 等. 精确农业基础. 北京: 中国农业大学出版社, 1999: 1~2
41. 张毅, 刘瑜, 王永乾. 水环境空间信息管理系统的设计和实现. 地理学与国土研究. 2000, 16 (4): 49~53
42. 张书慧, 马成林, 于春玲. 应用于精确农业变量施肥地理信息系统的开发研究. 农业工程学报, 2002, 35 (7): 883~887
43. 刘小军. 基于 WebGIS 和模型的农业空间信息管理系统研究, 南京农业大学硕士学位论文, 2005

44. 周慧珍, 李勇, 章扬德, 等. 以 CGI 为基础的农业技术分布式查询数据库. 土壤, 2001, 6: 286~288, 294
45. 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支持决策系统研究. 中国农业科学, 2002, 35 (7): 883~887
46. 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. 中国农业科学, 2004, 37 (4): 516~521
47. 黄莽. 加快农业信息化建设的思考. 计算机与农业, 2001, 11: 1~3
48. 张玉香. 关于加强农业信息体系建设的对策研究. 农业经济问题, 2003, 1: 37~40
49. 曹卫星, 罗卫红. 作物系统模拟及智能管理. 北京: 高等教育出版社, 2003, 148~152
50. 敦惠霞, 王千里, 张立华, 等. 农业信息系统的现状及发展对策. 农业图书情报学刊, 1999 (增刊): 50~52
51. N.A. Lorentzos, A.B.Sideridis, C.P. Yiaouris, *et al.* An integrated spatiotemporal system. Computers and Electronics in Agriculture, 1999, 22: 233~242
52. Aruna Srivastava, B.N. Nagpal, Rekha Saxena, *et al.* GIS based malaria information management system for urban malaria scheme in India. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 2003, 71: 63~75
53. 王欣, 郑贵州. 网络地理信息系统的特点与实现方法. 计算机与现代化, 2002, 8: 40~43
54. 孙秋冬. 软件系统的分层设计. 计算机工程与应用, 2001, 7: 110~112
55. 彭汉良. 种植制度决策支持系统的研究. 南京农业大学硕士学位论文, 2003
56. 王一专. 农作层次生产潜力估算与分析系统的建立. 南京农业大学硕士学位论文, 2003
57. 林五锁, 张孝飞, 窦文倩, 等. 徐州地区主要农产品生产基地土壤环境质量评价. 农村生态环境, 2003, 19 (1): 60~63
58. 刘小军, 朱艳, 姚霞, 等. 基于 WebGIS 的农田生产环境质量评价系统研究. 中国农业科学, 2005, 38 (3): 551~557
59. 徐福留, 周家贵, 李本纲, 等. 城市环境质量多级模糊综合评价. 城市环境与城市生态, 2001, 14 (2): 13~15
60. 熊飏, 赵颖, 王建英. 模糊数学在环境质量评价中的应用. 河南科学, 2002, 20 (5): 549~553
61. 刘普寅, 吴孟达. 模糊理论及其应用. 长沙: 国防科技大学出版社, 1998, 55~56, 199
62. 段莉琼, 刘立国, 郭黎, 等. 应用层次分析法确定道路属性指标的权重. 海洋测绘, 2004, 24 (3): 44~46

63. 李云, 刘学峰. 基于 ASP 技术的 WebGIS 系统开发方法研究. 地理空间信息, 2003, 1 (2): 8~11
64. 萨师煊, 王珊. 数据库系统概论. 北京: 教育出版社, 2000
65. 王儒兴, 王磊等. 数据库技术及其在农业系统中的应用. 计算机与农业, 2002, 1: 33~34
66. 杨宇姝, 闫徽, 邵宇. 模型库系统在农业信息决策支持系统中的应用. 农机化研究, 2004, 3: 183~185
67. 刘建栋, 傅抱璞. 农业气候资源数值模拟中气候资料处理模式的研究. 中国农业气象, 1999, 20 (3): 1~4
68. S.Kalogirou. Expert system and GIS: An application of land suitability evaluation. Computers, Environment and Urban System, 2002, 26:89~112
69. W.O.Ochola, P.Kerkides. An integrated indicator-based spatial decision support system for land quality assessment in Kenya. Computers and Electronics in Agriculture, 2004, 45:3~26
70. Mahesh N. Rao, David A. Waits, Mitchell L. Neilsen. A GIS-based modeling approach for implementation of sustainable farm management practices. Environmental Modelling and Software, Volume 15, Issue 8, December 2000, Pages 745~753
71. 吕波, 任继平, 吴欣等. 系统测试平台的设计与实现. 计算机工程与应用, 2001, 5: 168~172
72. 丰彦. 软件测试的系统测试方法. 引进与咨询——技术咨询, 2005, 3: 32~34

致 谢

本文是在朱艳副教授、丁艳锋教授的悉心指导下完成的。从课题研究到论文写作，均凝聚了导师无数的心血和智慧。导师渊博的知识、严谨的治学态度、高效的工作效率及诲人不倦的为师之道，给我留下深刻的印象，并将激励我不断前行，值此论文脱稿之际，谨向导师致以崇高的敬意和衷心的感谢！

在论文的完成过程中，得到了南京农业大学江苏省信息农业高技术研究重点实验室刘小军老师的热情指导和无私的帮助，以及金华市经济特产站包立生高级农艺师的指导和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

最后，衷心感谢所有关心和帮助过我的领导、同事、朋友和家人。

陈宏金

2007年6月