

黄土旱塬小麦生产管理专家 系统的设计与实现

上官周平 陈培元 李 英 梁银丽

(中国科学院水土保持研究所·陕西杨陵·712100)
水利部

王永庆 陈 军 王红峰 朱友红

(西安交通大学计算机科学系·陕西西安·710049)

摘 要 黄土旱塬小麦生产管理专家系统主要是根据我们的研究结果,并分析总结该领域专家的知识和经验所建立的一个专家系统。该系统在 Windows(3.1)和 SDK(3.1)支持下运用 Microsoft C(6.0)编制而成,采用正向的精确和模糊推理机制,知识库主要由产生式规则构成,包含数学模型和知识模型。该系统可针对当地气候和生产条件,作出灵活的反应,采取相应的优化措施和生产安排,以获得最佳的产量和效益。

关键词 专家系统 小麦 生产管理 黄土旱塬

Development and Design of Expert System for Production Management of Wheat on Loess Arid Plateau

Shangguan Zhouping, Chen Peiyuan, Li Ying, Liang Yinli

(Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica, 712100, Yangling Shaanxi)

Wang Yongqing Chen Jun Wang Hongfeng Zhu Youhong

(Department of Computer Science, Xi'an Jiaotong University, 710049, Xi'an Shaanxi)

Abstract In the vast countryside of the Loess Plateau, many areas belong to low-yield type of soil. Planting measures of farmers are still more unrefined. Expert system for production management of wheat on loess arid plateau using Microsoft C(6.0) languages under Microsoft windows(3.1) and Microsoft windows SDK(3.1) environment on the microcomputer 386, 486 etc. have been developed.

In this expert system, the main common parts are knowledge base, data base, model's base, inference engine, black board, interactive interface etc.

This expert system is built based on results of public knowledge, expertise of experts and developed idea. The strategy of inferences is the forward exact and fuzzy reasoning. The knowledge base is mainly composed of production rules, consists of mathematical model and knowledge model. This expert system can provide optimum arrangement of wheat production to different en-

① 收稿日期:1994-09-26

vironment conditions. This system can also be applied in other areas only with modifying and adding some rules in knowledge base.

The different version of the expert system have it possible employed under different kinds of microcomputers and operating systems. It is undoubted that application of the computer-based system in particular the intelligent expert system, to replace the expert is of very important practical value and great economic and social impact.

Key words expert system; wheat; Production management; loess arid plateau

从70年代后期,许多国家越来越重视专家系统(Expert System,即ES)技术在农业生产管理领域中的应用。尽管实现农业生产的全智能化还为时尚远,但ES技术的应用已赋予农业生产以新的内容,也积极促进了农业生产的发展和进步^[1,5,6]。我们运用人工智能技术建立的黄土旱塬小麦生产专家系统,可针对旱塬气候和生产条件,采取相应的优化措施和生产安排,以获得最佳的产量和效益,为加速开发黄土旱塬地区服务。

1 建立黄土旱塬小麦生产管理专家系统的重要性和必要性

(1)黄土旱塬横贯陕甘晋豫宁五省,是我国小麦的主要产区。近年来,依靠科技、政策和投入,塬区农业生产力明显提高,大量的实践结果证明黄土旱塬地区是黄土高原中农业开发综合条件较好,最有希望在近期内大幅度提高作物生产力的地区。

(2)农业生产实践活动中的任何决策,一般都要经过信息收集—状况判断—作出决策这样一个过程,其特点是因时因地制宜,需视条件变化作出不同的优化安排,而这种优化安排往往需要在不同层次上综合分析诸多因素的相互关系做为依据,这对于农民和一般农技人员是较难做到的,运用人工智能技术建立生产管理ES是农业科学决策的重要手段之一。

(3)小麦生产实践决策过程可利用ES技术实现智能化,这是因为生产过程所需的各种信息,并不都是确定性知识,大多属于不确定知识,即推理性和经验性的,这种知识适合ES的启发方法;生产管理决策的目标和功能明确,范围较小,专业面较窄,这适合ES擅长处理“专业化”问题的特点;小麦栽培科学中积累了专家对一些基本概念和规律,如小麦分蘖规律、幼穗分化规律、籽粒灌浆规律等公识性的解释,这为获取知识减小了一定的难度;农业生产中拥有一批经验丰富的农技推广人员,他们在长期的生产实践活动中积累了大量领域知识,可用ES来贮存和保护这些宝贵的知识同时也可以使之在生产中发挥更大的作用。

(4)我们多年来始终围绕如何提高旱塬冬小麦生产力的问题,开展了一系列定量反应模式的研究,提出了塬地农田生态系统底墒、地力和养分亏缺状况的评价方法和标准,以及幼苗期生长状况量化分级指标和抽穗期的LAI_{max}指标;明确了旱塬小麦的耗水特性和水分产量潜势;建成了从条件(底墒、肥力等)—品种类型组合—措施和投入—作物生长反应—产量和效益之间的一系列定量模式关系。其成果在大面积示范中,增产效果和经济效益显著,示范区小麦亩产高出周围同类地块35.8%,并创造了旱地高产纪录^[2]。

迄今为至,旱塬小麦生产管理的绝大多数工作仍依赖于农技人员和用户的经验来判断决策,对各种环境条件所做的相应决策都比较粗糙。在大气—作物—土壤大系统中,影响小麦生产力的因素错综复杂,任何时候都需要因时因地制宜,如果建立相应的小麦生产管理ES,就可以对当时当地的众多的环境条件和小麦生长状况作出准确的判断,实施最佳的管理方案,这

也是黄土旱塬农业实现现代化管理的必由之路。

2 黄土旱塬小麦生产管理专家系统的设计目标

概括的说,该系统的设计目标为:集领域内众家之长,针对黄土旱塬生态环境特点,建立起可对小麦栽培实现全面综合管理的专家系统,以便为农业主管部门、农技师、农民分别提供不同层次的辅助决策,为黄土旱塬地区的小麦丰收以及生产管理的科学化服务,同时要易于推广应用和具有较强的适用性。为此,需要达到如下具体目标:

- (1) 针对小麦不同生长期的特点,分别提供不同的决策服务,实现对小麦全面、综合性的管理,具有较高的实用性;
- (2) 综合领域内众家之长,针对知识的不同形态采用不同模式及处理方法,建立正确的知识表达模式和知识库系统,有效地模拟专家的思维过程,达到专家的处理水平;
- (3) 较高的可靠性,稳定性和可维护性;
- (4) 建立简便、友好的人机界面,操作简单、实用。

3 黄土旱塬小麦生产管理专家系统的生成工具和运行环境

3.1 生成工具

在专家系统的研制过程中,专家系统开发工具的选择至关重要。利用专家系统外壳或通用型专家系统工具虽能简化建立专家系统的编程工作,但受其推理机制的限制,不能较好的反映领域专家的思维过程。为此,我们决定根据专家解决旱塬小麦生产问题的思维过程,自己开发研制本系统。

Windows(3.1)是 Microsoft 公司推出的一个功能极强、十分吸引人的图形操作环境,它提供了功能强大、操作方便的管理工具和多个应用程序,具有 DOS 系统不可比拟的优点,并且具有向更完美的多媒体用户界面升级的能力。同时 Windows 应用软件开发工具 SDK(3.1)提供了各类工具、资源函数库和数据结构,为缩短软件开发周期,减少软件出错,开发出高质量、用户界面良好的系统打下了良好的基础。为此,我们选用 Windows(3.1)和 SDK(3.1)做为本系统开发的环境工具。

由于本系统处理的对象是知识,知识不仅包含数值,更多的是符号和论述,知识库中的知识是按一定的结构组织起来的,因而要求程序语言具有丰富的数据结构及符号处理能力。目前开发专家系统的语言有 Lisp、Prolog、Pascal 和 C 语言等,我们通过论证,确定选用 Microsoft C(6.0)和 Borland C++(3.0)为系统的开发语言环境,这是由于 Microsoft C(6.0)具有表示法简洁、大量使用指针计算、高度灵活、容易移植和有多种操作系统支持等特点,同时 Microsoft C 的标准性及兼容性比其它 C 编辑器要好^[3,4]。数据库的建设根据需和数据量来决定,对于数据量较少的数据,就用 C 语言自己建立,否则采用汉化的 Foxbase+(2.1)来建设数据库。

3.2 运行环境

本系统运行需 CPU 为 80386、80486 微处理器的微型计算机及其同等配置的各类兼容机,其内存在 4M 以上,配有 40M 以上硬盘和高密软驱,显示器为 VGA 彩显等。同时配有各类 24 针打印机,如 Epson LQ-1600 等;喷墨打印机,如 HP 系列。

运行还需 MS-DOS3.3 以上版本,Windows3.1 或更高版本,中文之星 1.2 或更高版本的支持。

4 黄土旱塬小麦生产管理专家系统的总体结构

本系统由人机接口、知识库、推理机、动态数据库、静态数据库、知识获取与知识库管理系统、数据库管理系统、建立模型系统和算法库构成。其逻辑结构如图1示。

4.1 知识获取系统

是系统维护的一部分,通过运行该系统可以对知识库进行增加、删改和维护,使其不断完善。

4.2 知识库

本系统知识库的知识源如图2示。

知识库主要是根据我们的实验结果来建立,在有些方面参考了前人的工作和吸收了别人

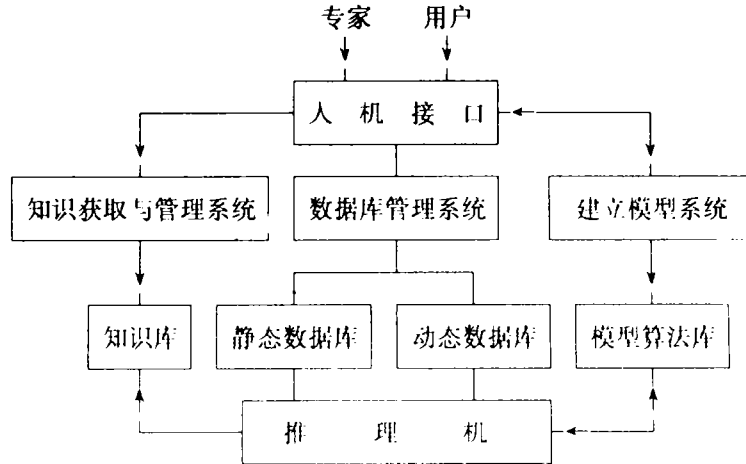


图1 黄土旱塬小麦生产管理专家系统总体结构简图

的经验。为了使专家系统能模拟专家的思维过程,就必须使它拥有专家水平的知识。为此,除了要从专家处获取完善的知识外,还必须采用适当的模式把知识表示出来,以便存储到计算机中去。系统确定知识表示模式的原则为:充分表达领域知识;有利于知识的推理;有利于知识的维护与管理;便于理解与实现。根据上述原则,我们分别对不同类型的知识确定了不同的表示模式,下面仅就经验性知识的表示模式作一简要介绍。

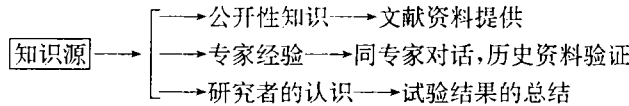


图2 黄土旱塬小麦生产管理专家系统的知识来源

在本系统中,专家的经验性知识一般具有因果性、模糊性、非结构性的特点,因此我们采用产生式规则作为经验性知识的基本表示模式,为了表示知识的模糊性,我们引入了模糊逻辑的有关理论和技术。规则的一般形式为:

$$r: \text{if } E_1(w_1) \text{ and } E_2(w_2) \text{ and } \dots \text{ and } E_n(W_n) \text{ then } H \text{ cf}$$

其中: E_i 表示证据, W_i 表示 E_i 为 H 的重要度, 满足 $\sum_{i=1}^n W_i = 1$, H 为结论或者表示调用某个过程; cf 为该规则的可信度或规则强度, 由领域专家给出。

对于每一个初始证据, 也应有一个可信度与之对应。但考虑到该系统的主要用户是农技推广人员和农民, 很难让他们准确地给出证据的可信度, 因而本系统采用模糊逻辑的有关技术, 分别针对不同情况设计了不同的隶属函数, 用户只要给出简单的回答, 就可由系统自动求出相应的隶属度。例如当用“地力(用前三年平均产量表示, kg/hm^2)”作为初始证据时, 将采用如下形式询问用户:

5100		4575		3975		3375		2850		2325		1800		1275	
很高	较高	偏高	中上	中	下	稍低	差	很差							
高				中				低							

用户只要指出相应的区间,系统就可以通过:

$$\mu_{\text{地力}}(u) = u/v$$

来确定出相应的地力 u 对“地力高”的隶属度。其中 u 为前三年的平均值, v 为最高产量的临界值。

采用这种表示方法既有效地体现了领域知识的特点,又方便了用户的使用。

4.3 推理机

推理机是 ES 的指挥机关,它根据用户信息运用知识库中的知识进行推理,并可调用模型库进行数值运算或访问数据库取得数据。本系统主要采用正向的精确推理和模糊推理的机制,搜索知识时采用深度优先搜索的原则,在推理过程中进行模糊性的传递与计算。

在推理过程中,一条规则的结论可能是另一条规则的证据,这样环环相套,将形成一个复杂的推理网络。另外,由于知识具有不精确性,因而它将在推理过程中逐层传递。这里一个关键环节是如何处理不精确性的传递问题,并确定相应的传递算法。

设有产生式规则:

$$\text{if } E_1(w_1) \text{ and } E_2(w_2) \text{ and } \dots \text{ and } E_n(W_n) \text{ then } H \text{ cf}$$

并假设与之对应的证据分别是 $e_1(c_1), e_2(c_2), \dots, e_n(c_n)$ 。其中 c_1, c_2, \dots, c_n 分别是 e_1, e_2, \dots, e_n 的可信度。则结论 H 的可信度为:

$$CF(H) = (\sum_{i=1}^n W_i C_i) \times cf$$

当知识库中有多条规则都匹配成功时,应根据一定的策略确定当前应启用的规则。本系统采用按证据的总体新鲜性排列,针对性排序,最新鲜及最不新鲜排序等三种冲突消解策略。

4.4 数据库

用 Foxbase+(2.1)建立了生物因素(作物生育进程、器官建成、叶面积、光合特性、干物质累积等),环境因素(降水量、光照、辐射、温度、湿度、积温、肥料、土壤及病虫害等),技术因素(品种特性、播种条件、播量、播期、限量灌溉、品种选择及病虫害防治技术等)和经济因素(农药、化肥、农机及产品价格等)数据库,共由56个数据库组成。

根据旱塬小麦生产的特点,我们在设计本系统时偏重数据的支持,着重于数据查询功能的充分体现,突出综合性、灵活性和友好性。这样可以方便灵活地建立、浏览、检索、更新和组合数据库。

4.5 模型建立系统

根据黄土旱塬的小麦生产现状,我们在本专家系统中特别设计了小麦规范化栽培应用程序,其结构包括专家咨询模块、实时学习模块、常用数理统计模块、经济效益分析模块、因子主效应及交互效应分析模块,上述模块均由总控程序调配,可根据用户要求来组装,模块之间可以任意序列调用,可为用户提供栽培方案咨询、信息处理、参数测辨、效益分析和仿真优化等多功能服务。

4.6 模型库

对影响旱塬小麦生产因素进行综合分析,经逐步回归筛选主导农艺技术因素的基础上,建立了小麦产量和经济效益与主要农艺措施间的关系模型,但由于这些模型的每个栽培措施单元都只有一个较小的波动幅度,也只能在与建模条件相似的环境中才能得到较高的重演性。如何使这些模型适应复杂的生产条件,就需要建立一个能适应不同生产条件的模型群,也就是对基础模型作相应的扩展,才能构成高产栽培主体模式系列,其构成如图3示。

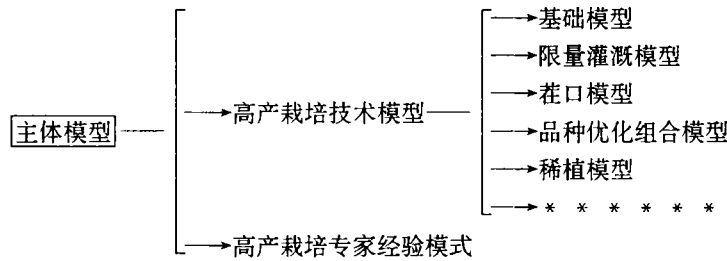


图3 旱塬小麦高产栽培技术体系

整个模型库的维护较为方便,用户可根据当季生产条件的改善和品种等因素的变化,依据自己的实验结果建立更加适合当地的丰产模型,可给本系统中已有的模型给出恰当的校正,使其更具实用价值。

4.7 动态数据库

在系统推理过程中,开辟了一个动态缓冲区,用以记录推理过程的结果和相应的结构,以协助推理机依据用户的回答继续推理。

4.8 人机接口

考虑到本系统主要是面向农技推广人员及农民,要求界面尽量清晰明了、操作简便、易学易用、进退自如,并能对误操作进行检查和屏蔽。为此,我们利用多窗口技术设计了分层弹出式菜单,用户只要通过移动鼠标器及少量有提示的输入就可以选择相应的功能,操作十分简便。对于输出,系统提示“显示”和“打印”两种形式,用户可自由选择。

5 黄土旱塬小麦生产管理专家系统的功能

本系统功能主要体现在将小麦生产动态管理的全过程与天气、土壤、社会经济状况等环境结合起来,做为一个有机整体统筹分析,并对其实行优化、控制、分类和决策,并解决生产各阶段的问题,满足用户的需求。本系统包括如图4所示的八个子系统,各子系统主要功能为:

5.1 生产资源潜力及当年生产目标预测子系统

在作物气候生产潜力模型的基础上,加进了气候年型、品种特性、灌溉条件、土壤肥力、病虫害以及技术普及率等方面的内容,可为一定的地区和年份提供合理的产量潜力和目标;依据当地历年的作物产量资料,利用灰色系统理论建模预测。

5.2 经济效益分析子系统

对旱塬小麦生产两大限制因素——水、肥进行分析,进而研究水分、肥料的生产效益,为用户作出最佳生产安排提供依据;依据生长期间投肥量、劳力和机器等项目来分析小麦的纯收益、收入、支出和产投比等项目;分析某一农艺措施变化对产量及构成因素的影响,以确定最佳措施组合的合理性。

5.3 播前农艺措施优化决策子系统

可根据当地的土壤水分和其它气候条件,给出一个区域的最佳品种搭配比例;对播前耕作

技术进行指导,以达到蓄水保墒的目的;对一般和干旱年份,推荐最佳的限量灌溉量和灌溉方案;根据用户的土壤、气候条件以及目标产量,推荐适合上述条件的品种和种子处理技术方案,并应用反应型丰产模型推荐小麦播种时的优化农艺措施组合。

5.4 优化施肥决策子系统

可根据用户的土壤生产和其它气候条件,提供维持基础地力的有机肥用量;确定有限经济投入获得最大利润的分配方案,并推荐获得最佳经济收益和最高产量的肥料分配方案;推荐实现目标产量的肥料种类和用量,以及相应的施肥技术措施。

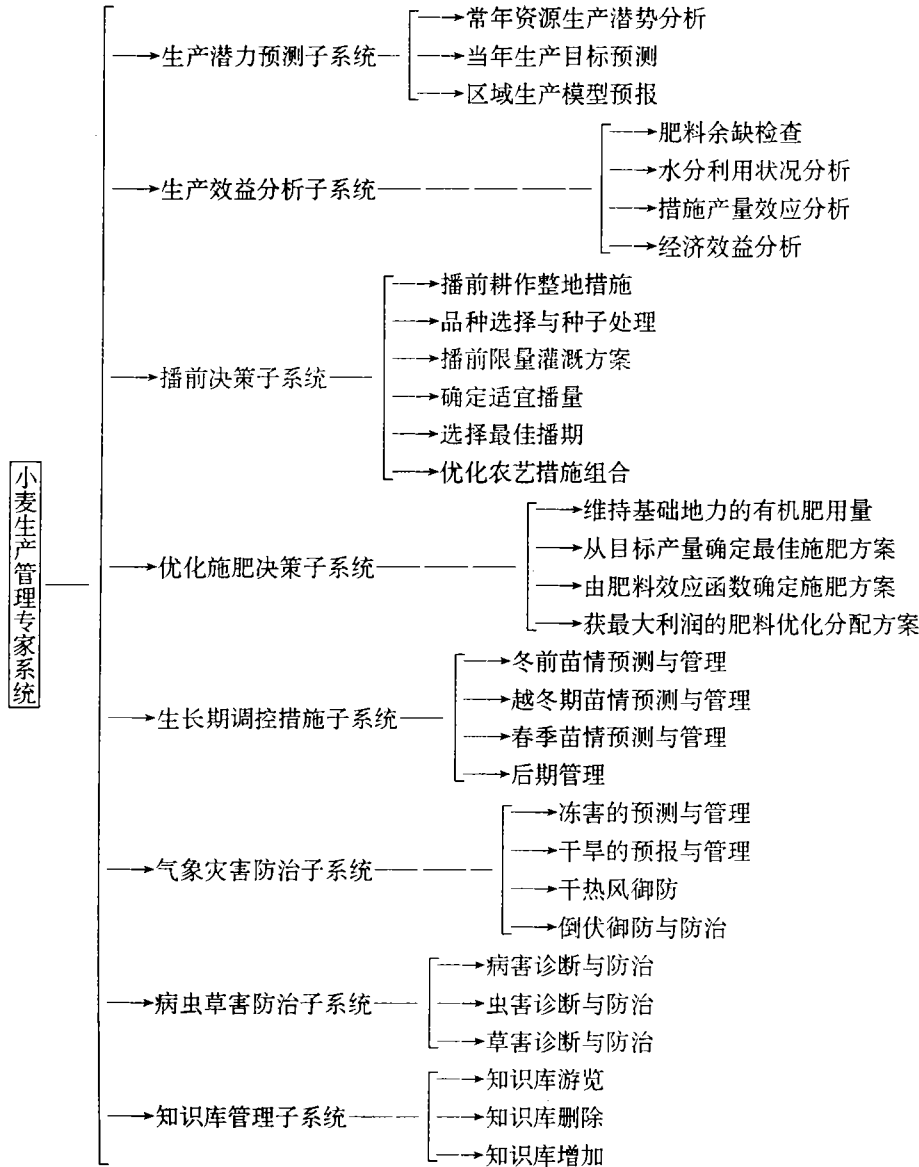


图4 黄土旱塬小麦生产管理专家系统总体功能结构简图

5.5 作物生长期管理调控子系统

根据气象条件和栽培措施预测小麦苗情,并给出不同苗情的管理措施;根据返青后的苗

情、群体状况、墒情、天气状况和发展趋势,提出合理的分类管理栽培措施;对小麦种子田的提纯复壮和生产田的收获提出合理建议。

5.6 作物生长期气象灾害的诊断与防治子系统

对旱塬小麦生产中的主要气象灾害如冻害、干旱、干热风 and 倒伏等进行预测和分级,并提出相应的防御措施和防治途径,以期使灾害对小麦的影响降到最小程度。

5.7 作物生长期病虫草害的诊断与防治子系统

根据对田间病虫草害的外部症状和流行特点等观察结果,帮助用户诊断病虫草害的种类、发生程度和危害,并提供防治策略,包括推荐农药种类、介绍使用方法及注意事项等。

6 黄土旱塬小麦生产管理专家系统的特点

由于小麦生产管理具有较强的综合性、开放性、地域性和时间性等特点,加之本系统最重要或最终目的是指导小麦生产实践活动,使小麦生产实现高产、稳产、优质和高效,以满足社会需求,同时使用户获益。所以,我们在研制过程中始终抓住有效地促进小麦生产管理这一目标,本系统基本上实现上述目的,同时具有以下特性:

(1)该系统是应用人工智能技术,在全面总结我所多年来在旱塬小麦方面研究成果以及专家积累的知识、经验和资料的基础上,并综合作物栽培、农业气象、土壤肥料和植物保护等多个领域专家的知识经验所建立的,对促进作物科学的研究与发展有重要意义。

(2)系统采用的模糊知识表示法及模糊推理模型,可有效解决农业知识难以抽象简洁表示的问题,充分体现了农业知识的特点,采用的推理与控制策略可有效地模拟专家的思维过程,推出结论与专家求解同类问题相符。

(3)采用的开发方法符合智能系统开发的策略,在快速原型法的基础上吸收了生命周期法的某些特点。运用模块化的结构设计,系统中各子系统是相对独立的,可单独进行咨询,也可根据不同管理内容调用各子系统,各子系统可以调用不同的数据库、知识库和模型库,整个系统有机的融为一体,这样,系统可以最大限度地满足用户的不同要求。

(4)本系统的推理机、算法库均为通用的,知识库和人工接口具有模型的特点,可供模仿和改建,领域专家可直接应用此系统模型来建造自己的专家系统,只要完成领域知识获取和专家模型提炼,以仿照本系统的知识库建造自己的知识库,并将人机界面稍加修改即可。因此,本系统可作为开发旱塬其它作物如玉米、高粱、大豆、谷子等的生产管理专家系统的外壳,也可作为单项农业技术措施如施肥、栽培、植保、气象灾害防治等建立专家系统的骨架。

(5)具有良好的实时性和较高的可靠性。由于本系统面临的是旱塬小麦生产活动,其决策与农民的生活和经济收益密切相关;同时小麦生长发育是一个动态过程,任何决策中都涉及众多关系复杂的环境因素,加之对决策的农时要求很严。为此,本系统在研制过程中采用我们建立的黄土旱塬小麦高产栽培技术综合模型,较好地解决了时空性和正确性的问题。

(6)具有知识处理与数据处理自动结合的能力。在本系统的知识库中,同时存在数学定量模型和技术经验模型,很多决策都需要综合定性和定量分析两种方法,为此本系统采用算法库将数据处理系统与知识处理系统有机的结合起来。

(7)友好的用户接口,操作简单易学。系统采用全汉字显示、打印,并且图文并茂,容易理解,继承了 Windows 图形操作平台的特点和风格,本系统采用鼠标驱动,只需使用鼠标器或几个数字键就可以执行其全部功能。

(8)便于知识库和数据库的维护。由于启发性的专业知识并不总是准确地加以整理而转换成程序的内部表示,加上专家知识经验、启发式规则是随实践不断发展变化的,因而设计时将知识库和推理机分开,使增删知识不通过推理机,从而使知识库易扩充、修改,稍经培训在短时间内就能更新或修改本系统中的有些知识、参数和数据,完善已有系统,使之更符合当地的生产实践。

黄土旱塬小麦生产管理专家系统的研制成功,为专家系统进一步在小麦生产管理中的应用开辟了广阔前景。人工智能技术的发展及其在农业中的应用,将加速黄土旱塬小麦生产管理现代化、科学化的进程,必将为小麦生产提供良好的服务。由于黄土旱塬地域辽阔、条件复杂,因此本系统还需要在实际应用中进一步求得完善和发展。

参考文献

- 1 上官周平. 农业专家系统及其应用. 农业现代化研究, 1994, (5): 298~301
- 2 陈培元等. 黄土旱塬冬小麦反应型丰产模式的研究. 见: 李玉山, 苏陕民主编. 长武王东沟高效生态经济系统综合研究. 科学技术文献出版社. 1991, 88~109
- 3 涂序染. 人工智能及其应用. 电子工业出版社, 1988
- 4 龚杰民, 金益民. C语言程序设计及其应用. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1990
- 5 Barrett, J. R., et al. Knowledge system development in U. S. agriculture. Expert System with Application. 1992, 4(1): 45-51
- 6 Fan lun Xiong. Knowledge engineering for agriculture in China. Proceedings of IFAC workshop on Expert System in Agriculture. International Academic Publishers. 1992. 4-8