

基于知识模型的棉花管理决策支持系统

张怀志, 朱 艳, 曹卫星*

(南京农业大学, 江苏省信息农业高技术研究重点实验室, 南京 210095)

摘要:通过对棉花栽培研究资料和专家知识的总结归纳,运用系统学方法和结构化途径,建立了基于知识模型的棉花管理决策支持系统(KMDSSCM)。它由数据库、知识模型库、专家咨询库和人机界面等部分组成;可以实现栽培方案设计、适宜生育指标确定、适时苗情调控、专家知识咨询和系统维护等功能,具有普适性强,独立性好等特点。实例分析结果表明,系统可以根据决策点的基础农情条件,设计出适宜的综合性栽培管理方案和生育指标动态。

关键词:棉花栽培;决策支持系统;知识模型;专家系统

中图分类号:S562 **文献标识码:**A

文章编号:1002-7807(2005)04-0201-06

Design and Implementation of a Knowledge Model-based Decision Support System for Cotton Management

ZHANG Huai-zhi, ZHU Yan, CAO Wei-xing*

(Hi-tech Key Laboratory of Information Agriculture, Jiangsu Province, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: By summarizing and inducing research achievements and knowledge accumulation in cotton cultivation theory and technology, a knowledge-model-based decision support system for cotton management was developed using system method and structural approach. The system is composed of database, knowledge model, expert consultation and computer-user interface, according to the target yield and anticipate fiber quality of farmers. It can be used for designing pre-sowing cultivation plan, which include variety type, sowing date, population density, fertilization strategy and water management, suitable cultural plan and growth indices, regulating growth dynamics, and providing specialist knowledge assistance and system maintenance, with wide applicability and good explanation. Using climate and topsoil property data of Nanjing, Jiangsu Province, this study designed pre-sowing cultivation plan, suitable dynamic growth indices for Sumian 9, which was planted widely in Nanjing. Comparing this design results with the practice and expert's knowledge, it indicated that on the basis of local farming conditions, the system generates growth indices for a proper target yield, such as height, leaf area index, the number of fruit branches, square and boll, dry matter accumulation and nutrition accumulation, according with the high yield population quality dynamic growth indices. In addition, the density and sowing rate the system designed were respectively 4.2×10^4 plant \cdot hm⁻², 31.2 kg \cdot hm⁻², which was in the diversification extension of farmers practice. At present, the actual amount of needed fertilizer and water of Sumian 9 aren't clear, but that the system calculated 203.9 kg \cdot hm⁻² N, 103.3 kg \cdot hm⁻² P, 86.5 kg \cdot hm⁻² K and 9112.5 m³ \cdot hm⁻² water were reasonable based on the understanding of fertilizer and water requirement for other varieties. As for development stages of cotton sowed on April 16 with no plastic film covering, the date of emergence, squaring, flowering

收稿日期: 2004-08-17 作者简介: 张怀志(1968-),男,博士。*通讯作者, caow@njau.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(30030090)及国家 863 计划项目(2003AA209030)

and boll opening were April 28, June 6, July 5 and August 20. Those dates were believable according to the farmers experiment and expert knowledge.

Key words: cotton cultivation; decision support system; knowledge model; expert system

作物生产系统是以土壤—作物—大气三个成分为主要内容的复杂系统。其复杂性不仅表现在作为系统中心环节的作物生长发育与生理生化等复杂的生命过程,而且作为系统成分的土壤和大气因子还具有随机性和动态性。这就使得人们难以定量地全面认识和掌握作物生产系统,而往往只能在一定程度上作局部的解释和确定。本质上讲,棉花生产系统的管理是介于结构化和非结构化之间的半结构化问题,其决策为半结构化决策。由于决策支持系统是以信息、仿真和计算机技术为手段,综合利用现有的各种数据、信息、知识,特别是模型技术辅助各级决策者解决半结构化和非结构化问题的人机交互系统,研究表明^[1],利用决策支持系统辅助进行棉花生产管理决策可以提高棉作决策的科学性和信息化程度。

国内外围绕棉花管理专家系统^[2-4]的研究,已经取得了显著进展,其中以美国农业部推出的COMAX棉花生产管理专家系统为突出代表。然

而,由于传统棉花生产管理专家系统中的知识规则一般具有较强的经验性和地域性,异地用户运用时,就必须重新修改知识库,而且知识库中的知识规则越全面,知识库越庞大,其决策效果就越好。这就限制了系统在不同条件下的时空适应性和决策可靠性。为此,本文运用系统学方法,设计和实现了具有时空规律的棉花栽培管理知识模型及决策支持系统(KMDSSCM),旨在克服传统农业专家系统的弱点。

1 系统结构

在充分剖析棉花生产中作物、环境和技术措施三者相互关系的基础上,经过领域专家反复讨论,确定KMDSSCM结构由以下四个主要部分组成:人机界面、数据库、知识模型库和专家咨询库等(图1),各部分既相对独立,又紧密衔接,形成有机结合的整体结构。

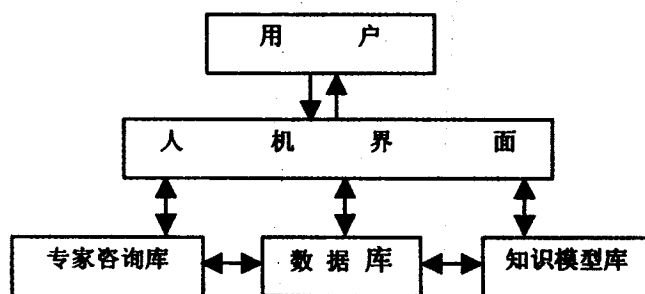


图1 KMDSSCM结构图

Fig. 1 Schematic diagram of the main components of KMDSSCM

KMDSSCM不是代替人的决策而是提供决策支持,因此人机界面是KMDSSCM的重要组成部分。知识模型库是在对田间试验、专家知识和文献资料进行综合分析、提炼,将其内在规律进一步量化表达的基础上而构建的,包括栽培方案设计、适宜生育指标动态预测和苗情诊断与调控三个部分。其中栽培方案设计主要有产量目标、品种选择、播种日期、种植密度、播种量、肥水运筹等模块;适宜生育指标动态根据产量目标、品种特性等因素而确定,包括生育期、果枝数、果节数、蕾铃数目、株高、叶面积指数和干物质积累动态。知识模型库同时可以根据用户输入的田间适时苗情,

调用苗情诊断与调控模块,通过比较分析实际苗情特征与适宜生育指标动态之间的差异,从而对田间植株生长情况进行诊断,并根据诊断结果计算出需要补充的田间管理措施的时间和强度,如肥水以及化学调节剂施用等,以帮助用户进行因苗管理决策。

在复杂巨系统的研究中,实现全部量化有明显的优越性,但作物生产系统的特点决定其难以实现。为此需要采用定性和定量相结合的综合集成研究方法来研究复杂巨系统。因此KMDSSCM模型在广泛收集和量化专家知识与高产经验的同时,对于那些暂时无法量化但能够

辅助田间诊断的各种株型、影响植株生长的各种病虫害和自然灾害以及田间技术措施内容等以知识规则的形式存放在知识库中,用户可以通过人机界面进行专家咨询和辅助决策,这样使得栽培管理的技术标准变得更加完善与合理。

数据库由数据以及数据库管理系统组成,数据主要有气象数据、品种数据、土壤数据和知识规则等。其中,气象数据主要包括逐日最高气温与最低气温、日照时数和降雨量等;品种数据包括2.5%跨长、比强度、麦克隆值、衣分、铃重、子指、产量潜力、枯萎病抗性、黄萎病抗性、棉铃虫抗性等;土壤数据包括土壤有机质含量、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾,土壤容重、田间持水量等。

2 系统设计

应用面向对象、结构化和模块化程序设计技术,在 P4CPU、128M 内存计算机、中文 Windows2000 操作平台上开发系统,在 Office 97 中构建数据库,利用 Visual C++ 语言编程实现。

3 系统主要功能及实现原理

系统实现了产前管理方案设计和产中生长动态调控的定量决策,包括产量及品质目标的确定、栽培方案设计、适宜生育期预测、动态生育指标量化和系统维护等功能(图 2)。有关知识模型系统中各子模型的具体算法描述,详见参考文献 [5-8]。

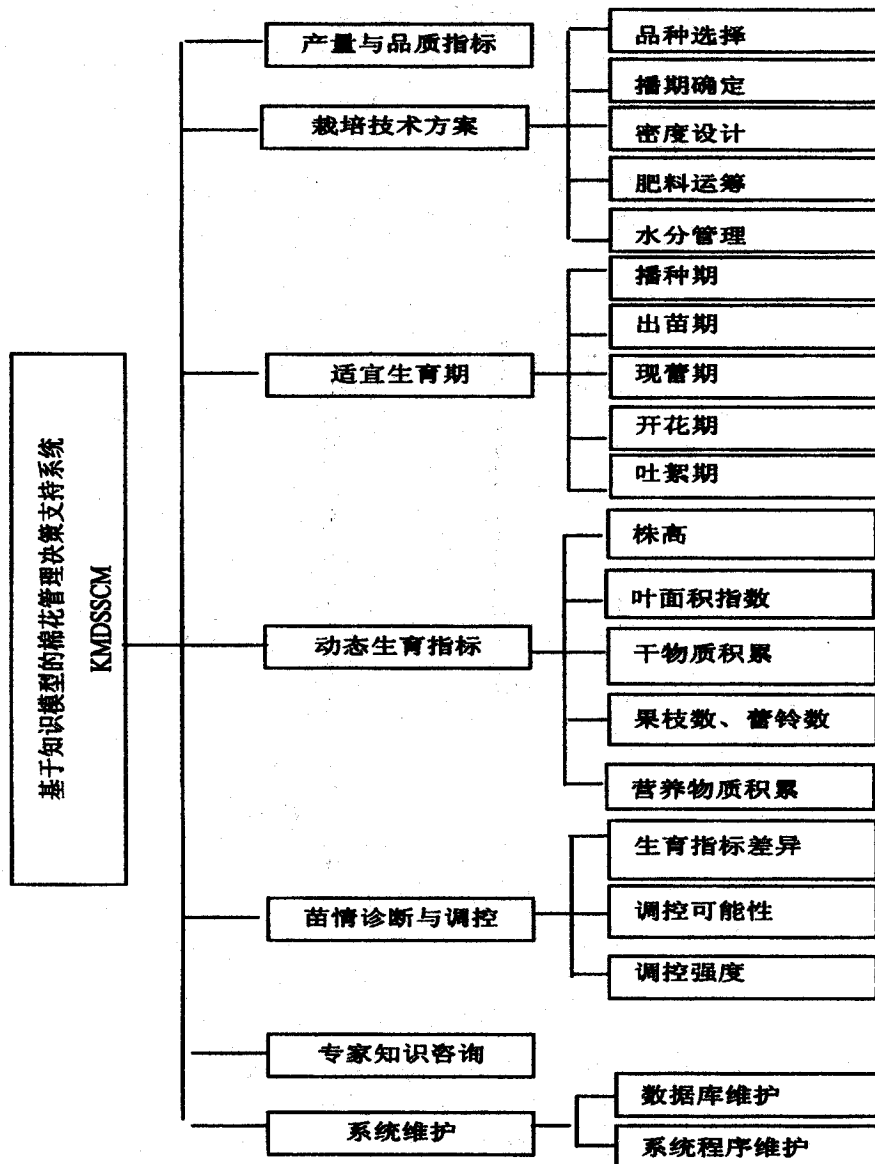


图 2 KMDSSCM 系统功能简图

Fig. 2 Function diagram of KMDSSCM

3.1 产量和品质目标确定

产量和品质目标的确定是作物生产管理的前提。系统根据决策点的光照、温度、水分和土壤条件,确定产量潜力;然后再根据决策点近若干年棉花平均产量与光温水土生产潜力之间的差距以及施肥水平、水分管理水平和生产技术水平等为用户确定切实可行的产量目标与结构。主要品质目标(以纤维长度、比强度和麦克隆值为主)由用户输入。

3.2 栽培方案设计

播前管理决策是实现高产优质的关键,由系统根据决策点的常年气候、土壤等生态条件,以产量与品质目标为模型的驱动因子,制定一套合理的播前栽培方案。

3.2.1 品种选择。适宜品种的选择是播前方案设计中首要考虑的问题,通过匹配棉花生长发育必须满足的温光水条件和决策点所能提供的温光水条件来确定决策点能否种植棉花及棉花种植方式。进一步根据用户对品种的要求(包括产量、品质、抗病虫害的要求),以及当地可能提供的生育期长短为用户选出合适的品种,并提供所选品种的置信度。

3.2.2 播栽日期。适宜播期可保证棉花生长发育节律与当地气候条件变化节律同步,确保植株在主要生育期达到相应的生育指标。根据气候条件确定播期,再利用品种特性和产量目标进行修正。

3.2.3 种植密度。合适的基本苗是获得适宜群体起点的保证。利用“以产定铃,以铃定节,以节定枝,以枝定苗”的基本原理确定合适的种植密度。在此基础上结合播种时的温度、土壤基本状况、水分、整地质量、播种方式、播种深度以及种子的纯净度等确定种子田间出苗率,从而进一步确定合适的播种量。

3.2.4 肥料运筹。肥料运筹综合考虑了氮、磷、钾肥的合理搭配,有机肥与无机肥的配合施用,基肥与追肥的适宜比例。根据平衡施肥原理,计算棉花全生育期所需的氮、磷、钾施用量,并进一步根据产量和品质目标等计算有机氮与无机氮的比例以及氮、磷、钾基肥与追肥的比例及施用时期。

3.2.5 水分管理及薄膜用量。以棉花主要生育阶段为决策单元,根据各生育阶段始末的土壤水分状况、有效降水量,利用水分平衡原理等确定灌溉量和灌溉时间。根据覆膜方式推荐薄膜用量。

3.3 适宜生育期预测

预测适宜生育期,从而动态调控棉花生长发育进程与最佳季节同步,是获得高产稳产优质的保证。根据当地的气象资料及所选品种的特性,确定理想的各主要生育期,包括播种期、出苗期、现蕾期、开花期和吐絮期。

3.4 动态生育指标确定

棉花生长发育除了受气候条件影响外,栽培措施同样可以影响棉花的生长发育和产量形成。通过解析合理的群体生育指标,系统根据用户的产量、品质目标,决策点的高产记录及品种特性等,以 $\geq 12^{\circ}\text{C}$ 的有效积温为自变量,来确定棉花生育过程中主要生育指标的理想动态。

3.4.1 株高。株高是衡量棉花生长发育状况的最直接、最有用的指标之一。首先根据产量目标和品种确定果枝数和节间数,进而确定最终株高,并利用 Logistic 曲线来表示株高动态。

3.4.2 叶面积指数。首先确定决策点产量目标的最大最适叶面积指数,根据不同生育期叶面积消长动态与 AGDD 的关系来确定叶面积指数动态。

3.4.3 干物质积累动态。干物质积累量与棉花其它动态生育指标有着密切关系。先根据产量目标求出特定产量水平下干物质积累量,进而描述干物质积累动态以及干物质在营养器官和生殖器官的分配。

3.4.4 果枝、蕾铃动态。根据目标产量、品质求出总蕾铃数、总果枝数,结合决策点的气候条件确定蕾铃和果枝的变化动态。

3.4.5 营养物质积累动态。根据干物质积累与营养物质积累之间的关系,确定营养物质积累动态。

3.5 适时苗情监测与调控

根据决策点气候(包括日最高气温、最低气温、降水量和日照时数)、栽培技术水平等因素和产量目标,系统生成棉花群体动态指标。根据用户输入的棉花田间实际生长发育状况,系统比较田间适时苗情与设计的适宜指标动态之间的差异,判断实际生长特征偏离适宜指标动态的范围以及调控目标实现的可能性,进而推荐相应的管理调控措施,如化学调节剂的施用时间和数量等。

决策支持系统的主要目的是辅助决策, KMDSSCM 在用户没有做出播前决策方案的前提下,也可以在棉花的特定生育阶段根据用户目

标产量、决策点的具体情况以及已经采取的生产管理措施,设计出适宜的动态生育指标,结合适时苗情修订,为用户下一步的栽培调控提供管理决策支持。

3.6 专家知识咨询

系统在做出动态调控的同时,还具有具体指导田间技术管理的功能。系统将各生育时期的田间管理措施及病虫害防治措施等以文字、图形的形式,直观地显示给用户,辅助用户进行决策。专家知识咨询包括播前准备(包括种子准备、地膜准备和整地等)、播种和育苗技术、移栽技术、苗期株型、蕾期株型、花铃期株型、吐絮期株型、病虫害防治以及自然灾害影响等内容。

3.7 系统维护

系统对于不同的用户授予不同的权限,用户

可以在权限范围内对数据库中的数据进行浏览、查询、添加、删除、修改和打印等操作。

4 系统应用实例分析

利用南京、石河子、安阳和太原 4 个不同纬度地区的气象资料、土壤特性、品种参数及常年生产情况数据库,系统为上述不同生态点正常年份设计了相应的棉花生产管理决策方案。结果表明,系统设计的栽培方案与特定地区采用的棉花栽培管理模式总体上是一致的。本文例举了系统各子模型设计的一整套适合南京地区常年棉花生产管理决策方案(表 1~6)。根据南京地区的实际棉花高产栽培模式^[9-10],表 1~6 的方案显示,本系统具有较好的可靠性和适用性。

表 1 用户栽培目标

产量水平及产量结构目标				纤维品质目标		
产量 /(kg·hm ⁻²)	铃数 /(万个·hm ⁻²)	衣分	铃重/g	2.5%跨长 /mm	比强度 /(cN·tex ⁻¹)	麦克隆值
1500	98.68	0.38	4.00	29.50	24.50	4.10

表 2 系统设计的适宜播种方案

播种方案			
品种	播期/月-日	种植密度/(万株·hm ⁻²)	播种量/(kg·hm ⁻²)
苏棉 9 号	04-16	4.2	31.2

表 3 系统设计的肥料供应及运筹

肥料运筹						
施氮量 /(kg·hm ⁻²)	施磷量 /(kg·hm ⁻²)	施钾量 /(kg·hm ⁻²)	有机氮:无机氮	基肥与追肥比例		
				N	P	K
203.9	103.3	86.5	3:7	2:0:6:2	5:5	5:5

注:N肥为基肥;蕾肥;花铃肥;后期补肥

表 4 系统设计的棉花不同生育时期的水分需求量

不同生育时期水分需求量/(m ³ ·hm ⁻²)			
苗期	蕾期	花铃期	成熟期
1209	1534.5	5160	1209

表 5 系统设计的棉花适宜生育期

适宜生育期				
播种	出苗	现蕾	开花	吐絮
04-16	04-28	06-06	07-05	08-20

表 6 系统设计的棉花适宜动态生育指标

	适宜的动态生育指标			
	现蕾	开花	吐絮	吐絮后 15 d
株高/cm	16.70	48.06	104.51	104.51
叶面积指数	0.19	1.43	3.07	1.98
果枝数/(万个·hm ⁻²)	7.95	40.00	83.33	83.33
铃数/(万个·hm ⁻²)	0.00	0.60	70.65	96.45
干物质积累量/(kg·hm ⁻²)	309.75	2360.10	10536.75	11785.95

5 小结

本研究运用系统分析和数学建模方法对棉花栽培学中的知识体系加以量化表达和模拟预测,使得用户决策更为准确、科学、定量和规范;同时克服了传统专家系统^[1-4]中知识库庞大而分散的问题,使得决策更为迅速和简化;而且,栽培管理方案和生育动态指标的设计是以专家知识和植棉经验为基础,并结合了最新研究成果,具有较强的可靠性和实用性。基于知识模型研制的决策支持系统原则上能够用于不同地点、土壤、品种和生产条件下的棉花生产管理决策,为棉作生产管理的精确化和数字化提供了通用性和量化工具。当然,本系统在广泛条件下的实际表现和应用价值还有待于进一步的充分检验和评价。

本系统的研制是以系统工程思想为指导,应用棉花栽培学、生态学、生理学、计算机科学等学科的基本理论与方法,在广泛而大量收集专家知识和高产资料的基础上,经过仔细甄别提炼和概括,找出棉花生长发育与栽培管理的共有规律,体现了以生长—环境—技术为主线的基础性关系。在实际应用中,仅需要输入决策点的气象资料、土壤状况资料及品种特征等基本生产数据,系统就可以正常运行并完成上面所叙述的所有功能,因此,系统具有较好的综合性和使用性。此外,系统中各模块均做成了自动化软构件,可修改性强,能即插即用,从而便于系统的理解、维护、升级和推广,即系统具有良好独立性和扩展性。

参考文献:

- [1] LEMMON H. COMAX: an expert for cotton crop management [J]. *Science*, 1986, 233(4759): 29-33.
- [2] 董占山,潘学标. 棉花生产管理决策支持系统(CPMSS)的设计与实现[J]. *计算机农业应用*, 1993(1): 16-19.
- [3] 郑曙峰,唐 胜. 江淮丘陵棉区棉花生产计算机管理决策系统(AHCCE)的研究[J]. *棉花学报*, 1999, 11(4): 191-194.
- [4] MCKINION J M, Baker D N. Application of the GOSSYM/COMAX system to cotton crop management [J]. *Agricultural systems*, 1989, 31: 31-35.
- [5] 张怀志,曹卫星,周治国,等. 棉花适宜叶面积指数的动态知识模型[J]. *棉花学报*, 2003, 15(3): 151-154.
- [6] 张怀志,朱 艳,曹卫星,等. 棉花适宜种植密度与播种量设计的动态知识模型[J]. *棉花学报*, 2004, 16(3): 156-161.
- [7] 张怀志,朱 艳,曹卫星,等. 棉花产量目标与产量结构的动态知识模型[J]. *棉花学报*, 2003, 15(5): 279-283.
- [8] 张怀志,朱 艳,曹卫星,等. 棉花氮肥和水分运筹的动态知识模型[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(5): 777-781.
- [9] 中国农业科学院棉花研究所. 中国棉花栽培学[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1982. 261-652.
- [10] 黄骏麒. 中国棉作学[M]. 北京:中国农业科技出版社, 1998. 252-318. ●