

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2010.01.012

烤烟实时灌溉预报与决策专家系统

王 宇¹,邵孝侯¹,莫建国²,胡家敏²,李继新³,袁有波³

(1.河海大学农业工程学院,江苏 南京 210098;2.贵州省山地环境气候研究所,贵州 贵阳 550002;
3.贵州省烟草科学研究所,贵州 贵阳 550003)

摘要:分析了不同天气类型下影响参考作物需水量(ET_0)的因素,建立了不同天气类型下 ET_0 实时预报模型.在此基础上,利用农田水量平衡原理,结合近年来烤烟节水灌溉研究的最新成果,建立了烤烟实时灌溉预报决策模型.以国家农业信息化科学技术研究中心研制的 PAID4.0 作为农业专家系统开发平台,运用 VB 语言扩展平台功能,开发了烤烟实时灌溉预报与决策专家系统.该系统以立足田间、面向基层生产管理者为出发点,充分体现了实用性、准确性和可操作性,可以为贵州省水资源短缺和时空组合差的烟区的灌溉决策提供更加有力的科技支撑.

关键词:烤烟 参考作物需水量 农业专家系统 节水灌溉 实时预报

中图分类号: S275 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1980(2010)01-0058-06

专家系统综合集成了某个特殊领域内专家的知识 and 经验,运用这些知识通过推理,模拟人类专家作决定的过程来解决一些专业领域问题^[1-7].目前,专家系统在作物病虫害诊断、施肥管理、栽培管理等农业领域都得到了应用.汪志农等^[6-7]开发出的节水灌溉预报、管理与决策专家系统,在指导我国北方缺水地区作物如冬小麦、夏玉米和棉花的节水灌溉实践方面取得了良好效果.在我国,烤烟节水灌溉研究虽然起步较晚,但已取得了丰硕成果^[8-11].笔者基于烤烟灌溉的实时性、必要性、紧迫性,结合近年来烟草节水灌溉研究成果和资料,在节水灌溉管理决策实践中,开发了烤烟实时灌溉预报与决策专家系统.

1 系统总体结构

烤烟实时灌溉预报与决策专家系统遵循构建农业专家系统的基本原则^[6-7,12-13],以知识库、模型库、数据库、推理机、解释器、黑板、人机交互接口为主要构建内容,结合烤烟生产中灌溉的实际需求,设计并实现了 6 大主要功能,其总体结构如图 1 所示.

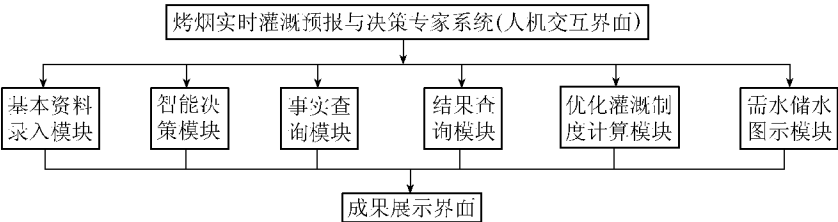


图 1 烤烟实时灌溉预报与决策专家系统总体结构

Fig. 1 General structure of real-time forecast and decision-making system for irrigation of flue-cured tobacco

2 专家系统基本原理

专家系统是人工智能中面向应用的重要分支之一,其理论基础是人工智能的知识表示和问题求解技术,所以知识表示方法和推理策略构成了专家系统的 2 大要素.本专家系统采用加权模糊产生式规则的知识表示方法和正向推理策略.实践证明,该知识表示方法和推理策略是适合农业领域问题且高效的^[13].

收稿日期:2009-01-16
基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)(2006AA10Z271);贵州省烟草专卖局科技项目(2007-05)
作者简介:王宇(1983—),男,黑龙江虎林人,博士研究生,主要从事节水灌溉研究.E-mail:wy1417@yahoo.com.cn

2.1 知识表示方法

产生式已成为人工智能中应用最多的一种知识表示模式,其基本表示形式为 $P \rightarrow Q$ 或 $\text{If } P \text{ Then } Q$. 其中, P 是产生式的前提, Q 是一组结论或操作,用于指出前提条件 P 所指定的条件得到满足时,可以得出的结论或执行的操作. 但由于农业领域问题(如作物长势、病虫害发生程度等)所特有的模糊性和不确定性,决定了农业专家系统的知识表示应该是支持模糊的. 为此,本系统采用改进的加权模糊产生式规则的知识表示方法^[13].

模糊产生式规则的一般形式为 $P \rightarrow Q, CF, \tau$. 前提 P 和结论 Q 都可以是模糊的, CF 称为规则的可信度, $0 < CF \leq 1$; τ 称为条件阈值,是规则被满足的下限, $0 < \tau \leq 1$. 上述规则的含义是‘如果前提 P 在某种程度上被满足,则可以一定真度推出结论 Q (或执行动作 Q),规则的可信度为 CF ’^[15]. 为了将产生式的前提条件模糊化,引入前提条件权重 ω_j 和前提条件真度 $T(P_j)$ 2 个概念. 其中: $\omega_j \geq 0 (j = 1, 2, \dots, n)$, j 为前提条件编号, n 为实现一条规则用到的条件总数,并且 $\sum \omega_j = 1$; $T(P_j)$ 表示前提条件成立的可信程度(真度). 为了更加直观地表述这种知识表示方法是如何应用于本系统的,以本系统中参考作物需水量 ET_0 的预测为例说明如下:

前提 P 当日天气状况为晴(权重 0.5),当日最高气温为 24.5°C (权重 0.2),风力等级为 2 级(权重 0.2),日序数为 91(权重 0.1);

结论 $ET_0 = 3.98 \text{ mm}$;

规则可信度 0.94;

条件阈值 0.5.

其中当日天气状况为晴、风力等级为 2 级 2 个前提条件本身就是一个模糊概念,它们的真度 $T(P_j)$ 为 $[0, 1]$ 间的实数,0 为条件不成立,1 为条件完全成立,其值视具体问题而定. 在基于短期天气预报可信的情况下,令以上各气象参数的真度均为 1. 其中当日天气状况的权重 ω_j (0.5) 明显高于其他各项,表明在 ET_0 的预测中天气类型参数更为重要. 规则可信度 $CF = 0.94$ 表示该条规则的结论(ET_0)的可靠程度为 94%,这里根据系统内部 ET_0 预测模型,采用训练样本的模型合格率确定了相应知识规则的可信度. 条件阈值的设定以能够有效激发该条知识规则为原则,即 $\sum \omega_j T(P_j) \geq \tau$ 时该条规则被激发,其中 $T(P_j)$ 为 P_j 的真度, $j = 1, 2, \dots, n$. 应用的最终结果是推出结论 $Q (ET_0 = 3.98 \text{ mm})$,结论的可信度为 0.94.

2.2 推理策略

在上述生产式规则系统中,系统的知识(知识库)是由若干规则组成的. 在知识库中,这些规则是随意安排的,每条规则都有相应的编号,它们不是有序排列的. 那么,应用专家系统去解决用户提出的问题就需要一种方法将各知识单元有机地联系在一起,即根据一定的原则,由已知前提作出判断并最终得出结论,这种方法就是推理策略^[6, 12].

每一个专家系统都有一个严密完备的推理策略,利用推理策略解决问题通常采用如下 2 种方法:一种是由下向上,即从前提 $\rightarrow$ 结论逐步推导;另一种是由上向下,即从目标结论 $\rightarrow$ 规则集的假设测试过程. 通常将前者称为正向推理,后者称为反向推理. 本系统采用了正向推理的策略,推理时,由用户提供的信息或事实为出发点与知识规则进行逐项匹配,如有匹配则以一定真度给出结论,否则给出‘根据现有知识,推不出结论’的最终结果. 本系统的推理策略如图 2 所示. 图中 K_c, K_s 分别为作物系数、土壤水分修正系数; R_a 为大气顶部理论太阳辐射.

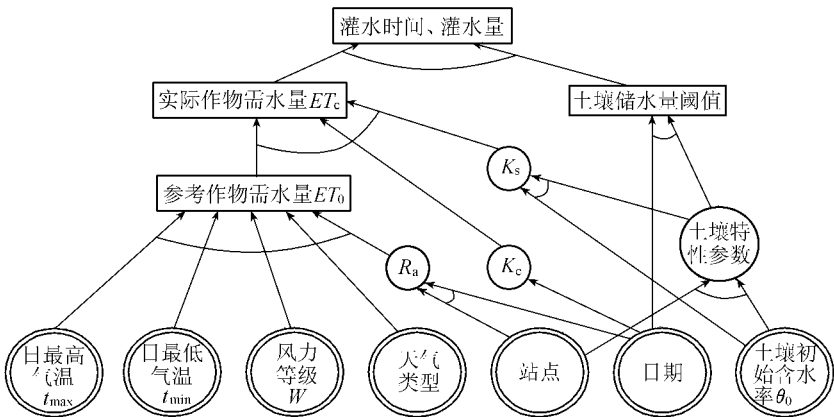


图 2 烤烟实时灌溉预报与决策推理网络

Fig. 2 Inference network of real-time decision-making and forecast system for irrigation of flue-cured tobacco

3 烤烟实时灌溉预报与决策的基本原理

3.1 农田水量平衡原理

对于烤烟等旱作物,通常以作物主要根系吸水层作为灌水时的土壤计划湿润层,并要求该土层内的储水量能够保持在土壤适宜含水量范围内.以日为周期的水量平衡方程可写为^[14-15]

$$W_i = W_{i-1} + W_r + P_0 + K + M - ET \tag{1}$$

式中: W_{i-1} , W_i —— $i-1$ 日和 i 日的土壤计划湿润层内的储水量; W_r ——由于计划湿润层增加而增加的水量; P_0 ——由于当日降雨而保存在土壤计划湿润层内的有效降雨量; K ——当日地下水补给量; M ——当日灌溉水量; ET ——当日作物需水量, $ET = K_s K_c ET_0$.各值均以 mm 计.

可以认为,作物在同一生育期内计划湿润层没有变化,相应的 $W_r = 0$. 由于贵州省植烟土壤地下水埋深一般都大于 10 m,所以 $K = 0$. 同时,贵州省主要植烟区都有完善的墒情监测站点,这里 P_0 将直接采用雨后墒情监测值.当无灌溉时,该日的水量平衡方程可简化为

$$W_i = W_{i-1} - ET \tag{2}$$

可见,准确地估计初始土壤水分状况和作物需水量是灌溉决策的关键.

为了满足农作物的正常生长需要,在某一生育期内计划湿润层内的土壤储水量通常要求不小于作物允许的最小储水量($W_{\min}$)和不大于作物允许的最大储水量($W_{\max}$).在生产实践中,人们更为关心的是当土壤储水量小于多少时应该灌溉,且灌溉量是多少,可表述为当 $W_t = W_0 - ET < W_{\min}$ 时应该灌溉,灌水定额为

$$m = W_{\max} - W_{\min} = 667 \rho H (\theta_{\max} - \theta_{\min}) \tag{3}$$

式中: m ——灌水定额,mm; H ——土壤计划湿润层深度,m; ρ ——计划湿润层内土壤的干密度, t/m^3 ; $\theta_{\max}$, $\theta_{\min}$ ——土壤适宜含水率上、下限(占干土质量的百分数).

3.2 ET_0 的实时预报

当前,1~3 d 短期气象预报中对基本气象参数的预报可靠性已达 90%^[15],并且通过互联网能够方便地查询到这些实时数据,同时考虑到本专家系统的运行效率和稳定性,在分析贵州省 11 个主要植烟区的 2001~2004 年烤烟生育期内日天气类型、日最高气温($t_{\max}$)、日最低气温($t_{\min}$)、风力等级(W)、大气顶部理论太阳辐射(R_a)及可计算的 $(t_{\max} - t_{\min})^{1/2}$ (简记为 $(\Delta t)^{1/2}$)与 ET_0 (FAO56, Penman-Monteith)值之间关系的基础上,应用 SPSS 软件,建立了不同天气类型下多元逐步回归模型,并采用 2005 年气象资料进行了检验.以贵阳修文站为例,有关参数如表 1 所示.由训练、检验结果与目标结果的误差情况可以看出,基于不同天气类型下的逐步回归模型在精度方面能够满足生产实际需要.

表 1 训练、检验结果与目标结果的误差

Table 1 Errors between training and predicted results and objective ones

样本	模型	合格率/ %	最大相对 误差/%	最小相对 误差/%
训练 样本	晴: $ET_0 = -5.609 + 0.168 t_{\max} + 0.59 W + 0.121 R_a$	93.5	23.8	1.0
	多云: $ET_0 = -2.589 + 0.203 t_{\max} + 0.662 W$	86.1	41.5	0.1
	阴: $ET_0 = -2.469 + 0.211 t_{\max} + 0.312 W$	82.4	36.2	0.9
	雨: $ET_0 = -1 + 0.052 t_{\max} + 0.153 W + 0.041 R_a + 0.162 (\Delta t)^{1/2}$	100.0	14.9	0.1
检验 样本	晴: $ET_0 = -5.609 + 0.168 t_{\max} + 0.59 W + 0.121 R_a$	92.5	83.2	0.5
	多云: $ET_0 = -2.589 + 0.203 t_{\max} + 0.662 W$	81.8	38.1	1.2
	阴: $ET_0 = -2.469 + 0.211 t_{\max} + 0.312 W$	93.1	48.6	2.3
	雨: $ET_0 = -1 + 0.052 t_{\max} + 0.153 W + 0.041 R_a + 0.162 (\Delta t)^{1/2}$	81.0	35.4	0.7

3.3 基本参数的确定

能否准确地进行灌溉决策和预报,不仅取决于 ET_0 预测的准确性,还在于对模型中其他各参数的合理选用.通过对近年来贵州省及南京两地烤烟优化灌溉对比试验资料的分析,确定了模型基本参数,即:

- a. 烤烟不同生育期土壤计划湿润层深度(H).根据烤烟生育期内根系生长深度,将 H 确定为:伸根期 0.3 m,旺长期 0.5 m,成熟期 0.4 m^[8-9].
- b. 烤烟不同生育期土壤适宜含水率上、下限($\theta_{\max}$, $\theta_{\min}$).烤烟生育期内适宜土壤的下限含水率(占田持

- 的%)确定为:伸根期 60%,旺长期 80%,成熟期 70%。上限取 100%^[8-9,11]。
- c. 作物系数、土壤水分修正系数(K_c, K_s)。作物系数 K_c 采用文献^[16]的推荐值,即伸根期 0.75,旺长期 1.1,成熟期 0.85;土壤水分修正系数 K_s 通过詹森公式 $K_s = \ln[(\theta_0 - \theta_{wp})/(\theta_{fc} - \theta_{wp}) + 1]/\ln 101$ 获得,式中 θ_0 为当前土壤含水率, θ_{wp} 为土壤凋萎含水率, θ_{fc} 为土壤田间持水率。
- d. 土壤特性参数。用压力膜法测定了贵州省 11 个主要植烟区的土壤水分常数(包括田持、毛管断裂含水量、凋萎系数等),用环刀法测定了土壤密度^[17]。
- e. 贵州省烤烟水分生产函数。根据修文站实测资料,将烤烟水分生产函数表述为 3 阶段 Jesen 模型,即

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \left(\frac{ET_{a1}}{ET_{m1}}\right)^{0.054} \left(\frac{ET_{a2}}{ET_{m2}}\right)^{0.514} \left(\frac{ET_{a3}}{ET_{m3}}\right)^{0.121} \quad (R^2 = 0.817)$$

(4)

式中: Y_a ——作物实际产量; Y_m ——作物最大产量; $ET_{ai}(i=1,2,3)$ —— i 阶段作物实际腾发量; $ET_{mi}(i=1,2,3)$ —— i 阶段作物最大腾发量。

4 系统的实现与特点

本系统采用国家农业信息化工程技术研究中心研制的 PAID4.0 农业专家系统开发工具^[13],并将自主开发的 VB 模块与之集成,拓展了原开发平台不能实现的部分功能,如优化灌溉制度计算和需水储水图示功能,实现了面向 Windows 平台的操作系统。应用本系统进行灌溉预报与决策无需额外的计算机操作知识及专业领域知识,用户进入功能模块即有相应的操作提示。例如,本系统中除土壤初始水分状况、部分日气象参数需用户实测或查询互联网输入外,其余预报和决策前提项只需双击或单击从动选择即可。系统部分界面如图 3 所示。



图 3 专家系统部分界面

Fig. 3 Part of interfaces of system

5 结 语

本系统以立足田间、面向基层生产管理者为出发点,在开发过程中整合了近年来烤烟节水优化灌溉的最新研究成果,并充分体现了实用性、准确性和可操作性。随着对烤烟节水灌溉理论研究的深入和生产实际应用需求的进一步提高,本系统的知识库和模型库将会不断扩充和完善,本系统将会更好地为合理利用灌溉水资源及促进我国烟草农业现代化提供科技支撑。

参考文献:

- [1] SRINIVASAN R, ENGEL B A, PAUDYAL G N. Expert system for irrigation management (ESIM) [J]. Agricultural System, 1991(36) :297-314.
- [2] PLANT R E, HORROCKS R D, GRIMES D W, et al. CALEX/Cotton, an integrated expert system application for irrigation scheduling[J]. American Society of Agricultural Engineering(ASAE), 1992, 35(6) :1833-1838.
- [3] PLANT R E. An integrated expert decision support system for agricultural management[J]. Agricultural System, 1998(26) :49-66.
- [4] 王文娥, 汪志农, 马孝义, 等. 专家系统及其在节水农业中的研究与应用[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2001, 29(3) :125-128. (WANG Wen-e, WANG Zhi-nong, MA Xiao-yi, et al. Research on expert system and its application in water saving agriculture[J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, 2001, 29(3) :125-128. (in Chinese))
- [5] PLANT R E, LOOMS R S. Model-based reasoning for agriculture expert system[J]. AI Application, 1991, 5 :17-28.
- [6] 汪志农, 冯浩. 节水灌溉管理决策专家系统[M]. 郑州:黄河水利出版社, 2001 :19-21.
- [7] 汪志农, 尚虎军, 柴萍. 节水灌溉预报、管理与决策专家系统研究[J]. 水土保持研究, 2002, 9(2) :102-108. (WANG Zhi-nong, SHANG Hu-jun, CAI Ping. Study on expert system of water saving irrigation forecast, management and decision making[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2002, 9(2) :102-108. (in Chinese))
- [8] 刘玉青, 邵孝侯, 汪耀富, 等. 烟草适度亏水效应与生理灌溉指标研究[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2006, 34(6) :664-666. (LIU Yu-qing, SHAO Xiao-hou, WANG Yao-fu, et al. Study on moderate water deficit effect and physiological irrigation index of tobacco[J]. Journal of Hohai University :Natural Sciences, 2006, 34(6) :664-666. (in Chinese))
- [9] 阿吉艾克拜尔, 邵孝侯, 钟华, 等. 调亏灌溉及其对烟草生长发育的影响研究[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2006, 34(2) :172-174. (HAJIABBAR, SHAO Xiao-hou, ZHONG Hua, et al. Regulated deficit irrigation and its effects on growth of tobacco[J]. Journal of Hohai University :Natural Sciences, 2006, 34(2) :172-174. (in Chinese))
- [10] 袁有波, 李继新, 苏贤坤, 等. 节水灌溉条件下水氮耦合对烤烟生长发育及生理性状的影响[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2008, 36(6) :781-785. (YAN You-bo, LI Ji-xin, SU Xian-kun, et al. Effect of coupling of water and nitrogen on growth, development and physiological indices of flue-cured tobacco under water saving irrigation conditions[J]. Journal of Hohai University :Natural Sciences, 2008, 36(6) :781-785. (in Chinese))
- [11] 李进平, 陈振国, 杨艳华, 等. 水分条件对烤烟生理指标的影响及适宜土壤水分指标研究[J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(1) :93-96. (LI Jing-ping, CHEN Zhen-guo, YANG Yan-hua, et al. Study on the adequate soil moisture indexes of flue-cured tobacco irrigation based on some physiological indexes[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2007, 26(1) :93-96. (in Chinese))
- [12] 吴泉源, 刘江宁. 人工智能专家系统[M]. 长沙:国防科技大学出版社, 1995 :45-48.
- [13] 杨宝祝, 赵春江, 李爱平, 等. 网络化、构件化农业专家系统开发平台(PAID)的研究与应用[J]. 高技术通讯, 2002(3) :5-9. (YANG Bao-zhu, ZHAO Chun-jiang, LI Ai-ping, et al. Research and application of platform for agricultural intelligent-system development[J]. High Technology Letters, 2002(3) :5-9. (in Chinese))
- [14] 郭元裕. 农田水利学[M]. 3版. 北京:中国水利水电出版社, 1997 :39-40.
- [15] 茆智, 李远华, 李会昌. 实时灌溉预报[J]. 中国工程科学, 2002, 4(5) :25-31. (MAO Zhi, LI Yuan-hua, LI Hui-chang. Real-time forecast of irrigation[J]. Engineering Science, 2002, 4(5) :25-31. (in Chinese))
- [16] 龙怀玉, 刘建立. 中国烤烟气候适宜性和需水量的空间分布特征[M]. 北京:中国大地出版社, 2007 :163-166.
- [17] 戴琳. 贵州省主要植烟土壤水分特征及其有效性研究[D]. 南京:河海大学, 2008.

Real-time forecast and decision-making system for irrigation of flue-cured tobacco

WANG Yu¹, SHAO Xiao-hou¹, MO Jian-guo², HU Jia-min², LI Ji-xin³, YUAN You-bo³

(1. College of Agricultural Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China ;

2. Guizhou Research Institute of Mountainous Area Environment and Climate, Guiyang 550002, China ;

3. Guizhou Tobacco Science Research Institute, Guiyang 550003, China)

Abstract :By analyzing the factors influencing the reference evapotranspiration (ET_0) with different weather types, a real-time forecast model for ET_0 was established. On this basis, according to the principles of farmland water balance and up-to-date results on research of water saving irrigation of flue-cured tobacco from recent years, a real-time forecast and decision-making model for irrigation of flue-cured tobacco was built. A real-time forecast and decision-making system for irrigation of flue-cured tobacco was developed using the platform for agriculture intelligent-system development (PAID) 4.0 of the China Agriculture Information Technology Research Center, and functions of the platform were expanded with the Visual Basic language. The system bases itself upon the farmland and serves the production manager at the grassroots level. It is practical, accurate and convenient. The system can provide powerful scientific support for irrigation decision-making in tobacco regions with shortages and poor-quality spatial and temporal combinations of water resources in Guizhou Province.

Key words :flue-cured tobacco ; reference evapotranspiration ; agricultural expert system ; water-saving irrigation ; real-time forecast

· 简讯 ·

河海大学承担的首个国家星火计划项目 “海水高效养殖与生态村建设科技集成应用”通过专家验收

2010 年 1 月 7 日,受项目主管部门委托,河海大学组织校外专家在南京召开了国家星火计划项目‘海水高效养殖与生态村建设科技集成应用’验收会.验收会由河海大学科技处副处长许卓明主持,南京农业大学副校长胡锋教授担任验收委员会主任.验收委员会专家认为该项目全面完成了预定的各项任务,社会、经济、生态效益显著,并一致同意通过验收.

“海水高效养殖与生态村建设科技集成应用”项目是河海大学承担的首个国家星火计划项目.该项目由河海大学公共管理学院毛春梅教授和江苏榆城集团有限公司宋世敏总经理负责,实施地是‘全国文明村’赣榆县青口镇宋口村.该项目于 2007 年立项,通过 2 年多的实施,集成了中华绒螯蟹良种繁育、无公害及有机产品养殖、海水高效循环及精准养殖、水产品加工增值等多项技术,形成了多种特色产品,建立了 1 330 多 hm^2 示范基地,构建了海水高效养殖新模式,促进了水产品特色产业发展.该项目还集成应用人居生态环境构建、建筑节能节水、污水与生活垃圾无害化处理等技术,新建 160 户生态住宅小区,有效改善了村域生态及村民生活环境.该项目探索建立了村委会主导、科技引领、村级企业扶持、村民广泛参与的生态村建设与管理长效机制.项目的实施不仅促进了宋口村全村经济收入的增长,还使得周边农民增收致富.总之,该项目为加速农村小康建设和农业现代化进程探索出了一条新路.

(本刊编辑部供稿)