

玉米数字模拟器研究

诸叶平, 李世娟, 于向鸿

(中国农业科学院农业信息研究所, 北京 100081)

摘要:以玉米为对象,对作物-环境-技术关系展开了数字化模拟研究。运用系统分析方法和动态模拟技术,构建了基于玉米生长发育过程的玉米产量与品质形成模拟器系统;应用组件化程序设计思想,采用标准化接口和模块化封装技术,研究了玉米生长、管理、调控与设计数字化模拟器系统;应用可视化技术实现了玉米动态模拟的可视化输出;从而实现了玉米生产系统预测、管理、调控、设计的数字化和科学化。

关键词:玉米;数字化;模拟器

中图分类号:S-01

文献标识码:A

文章编号:1008-0864(2007)06-0084-06

Studies on Maize Digital Simulator

ZHU Ye-ping, LI Shi-juan, YU Xiang-hong

(Institute of Agricultural Information, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Taking maize as an objective, this paper carries out digital simulation research on the relationship between crop, environment and technology. It applies systematic analysis and dynamic simulation technology to build a maize yield and quality formation simulator according to maize growth and development processes. Using the idea of component-based program design and the technologies of standard interface and module encapsulation, a digital system is developed to manage and monitor maize production, the visualized technology is applied to realize dynamic simulation for maize production. Finally, digitalize and scientization are realized for forecast, management, regulating and controlling, designing in maize production system.

Key words: maize; digitalization; simulator

数字农业(digital agriculture)是20世纪末在“数字地球”的大背景下提出来的。数字农业涉及与农业相关的所有对象和过程,以及从宏观到微观的多个层次。就应用领域而言,宏观领域的应用主要是指农业行政管理和规划部门应用计算机和网络技术以及GIS技术等对农业生产进行宏观管理;微观方面主要是指“精准农业”等技术在农业田间操作领域的应用^[1]。参照“数字地球”、“数字部队”等相应的含义,数字农业应该用数字化技术,按人类需要的目标,对农业生命全过程及其生态与环境和社会经济属性进行数字化和可视化的表达、设计、控制、管理,使农业按照人类需求的目标发展的现代化农业^[2-4]。

1 作物模拟研究

国际上运用数字技术,以作物与土壤、大气等

环境要素相互作用的机理为基础,在模拟各作物的虚拟生长、发育过程方面已有深入研究,在生产中提高了作物生产管理水平和产品品质。目前,作物生长模拟技术已发展成为当今最为活跃的前沿农业学科领域之一,是数字农业技术体系的重要基础和关键技术^[5]。据不完全统计,已经建立的各种作物模拟模型至少有100种,国外建立的单作物专用模型有30多种,多作物长时段通用模拟模型有10余种,涉及到的作物也有10多种,主要以美国和荷兰所建的模型为代表。美国的农业科技转换决策支持系统(DSSAT)是目前使用最广泛的模型系统之一,它由17种不同的作物模拟模型组成,包括禾本科作物组(CERES)、豆科作物模拟模型组(CROPGRO)、马铃薯模型(SUBSTOR)、甘蔗模型(CANEGRO)、木薯模型(CROPSIM)和向日葵模型(OILCROP)等。由荷兰

收稿日期:2007-09-14;修回日期:2007-09-24

基金项目:北京市自然科学基金项目(4042026)和国家863项目(2006AA10Z220;2003AA209032)资助。

作者简介:诸叶平,研究员,博士生导师,从事农业信息技术研究。E-mail:zhuyp@mail.caas.net.cn

Wageningen 大学研究中心开发的 SUCROS 模型组也被人们广泛应用。SUCROS 模型系列中包括 MACROS 模型和 BACROS 模型以及被称为 WOFOST 的简化模型。荷兰政府与国际水稻研究所(IRRI)协作,资助了水稻模型 ORYZA 的开发,进行水稻产量模拟和系统分析(SARP),该项目已经在东南亚通过广泛验证。另外,还有澳大利亚使用的农业产量系统模拟(APSIM)等。作物模型的前沿领域是把生理生态功能与形态模型进行结合,向解决机理性和通用性方向发展,在微观水平上与作物育种、基因工程相连接,逐步从机理上量化根-冠信号传递对同化产物分配的影响;以动力学模型为基础的土壤水分、养分运移过程模型与作物生理生态过程及形态发育模型的结合是国际数字农业相关领域研究的前沿和热点。

国内在学习、引进美国和荷兰模型的基础上,依据自己的试验研究成果,消化并改进后建立了许多作物生长模拟模型,先后提出了水稻、小麦、玉米和棉花等作物模拟模型及优化栽培系统。如建立了水稻模拟模型 RSM;以 CERES 模型为基础,提出了小麦、玉米作物的生产实验系统;研制成棉花生长发育模拟模型(COTGROW)和棉花栽培计算机模拟决策系统(COTSYS);建立了农田水分平衡与作物生长动态耦合综合模拟模型等^[6]。近几年来,我国在作物模拟和虚拟农业的研究有了迅速进展。中国农业大学为量化研究农田系统水分运动与转化的时空规律,与中国科学院计算所等单位合作,建立了冬小麦根系生长发育三维可视化模型,并与中国科学院自动化研究所、法国 CIRAD-INRA 的 AMAP 实验室合作进行了虚拟植物生长的研究。中国农业科学院农业信息研究所智能农业技术研究室建立了小麦-玉米连作智能专家系统,建立了玉米、小麦的生长发育三维可视化模型,进行了玉米、小麦生长的三维动画模拟研究,为小麦-玉米连作提供了决策支持^[7]。此外,我国已初步实现了玉米、水稻株型数字化设计,建立了基于数字化技术的植物形态结构信息采集系统与植物器官形态描述模型。然而现有的模型系统大多注重局部地区、特定种群或个体状态和行为的专用性、预测性,经验性参数较多,模型的机理性、适用性和可用性较差,且往往侧重于作物生长发育的某些方面,难以定量描述和预测作物生长系统中复杂过程间的相互关系

及综合表现,需要加以修正和完善。

作为世界上第三大粮食作物,玉米的生长模型、知识模型、管理决策系统、虚拟显示及数字化设计一直是作物生长模拟与智能决策等研究中的最活跃领域之一。我国玉米生长模拟模型及决策系统等研究相对较晚,但发展较快,从 20 世纪 90 年代初期已有关于引进国外玉米模型报道,近年来,国内有关这方面的研究在不断深入,并取得了丰硕的研究成果。同时,我国科研人员已经开始用模型来评估气候变化对农业生产的影响,并把模型与地理信息系统、遥感技术进行了初步的结合,为农业政策制定、农业区划生产等工作提供了必要的科学依据。

目前,作物模型研究正在向综合化和网络化方向发展,正在与 3S 技术和精准农业技术相结合,面向生产、面向应用。

作物模型应用系统的研究任务之一,是选择更有效的方法,不仅可用它建立作物模型系统,使之适合模型系统的发展,还要适合模型应用系统开发的需要。数字化玉米模拟器正是将作物模型研究与模型应用研究有机结合的产物。在数字化玉米模拟器研究中,首先分析、确定作物-环境系统的动力学关系,建立模拟模型,进而开发一个基于模型应用的模拟器。本研究发展了已有的研究成果^[8],在发展作物模拟模型的基础上研究作物模型应用系统,为玉米生产管理科学化和数字化提供重要的手段。

2 玉米数字化模拟器的设计

玉米数字化模拟器的内核是作物生长模拟模型,玉米模拟器主要变量及其关系如图 1 所示,根据系统动力学原理,通过分析玉米-环境变量之间的相互作用关系,设计了玉米模拟器的各个功能模块,功能模块如图 2 所示。

玉米模拟器由数据管理、模拟模型、分析与决策和结果输出等部分组成,主要包括以下过程:数据输入、参数初始化、水分平衡、氮素平衡、植株生长发育与形态发生、干物质积累、分配、品质形成、氮淋失控制和结果输出。水分平衡过程,主要包括土壤和植株的水分平衡。氮素平衡过程,主要包括氮素在土壤中的转化、植株根系吸收和在植株器官的分配。玉米的生长发育与形态发生过程,主要是以水、温度、光照反应为基础的发育

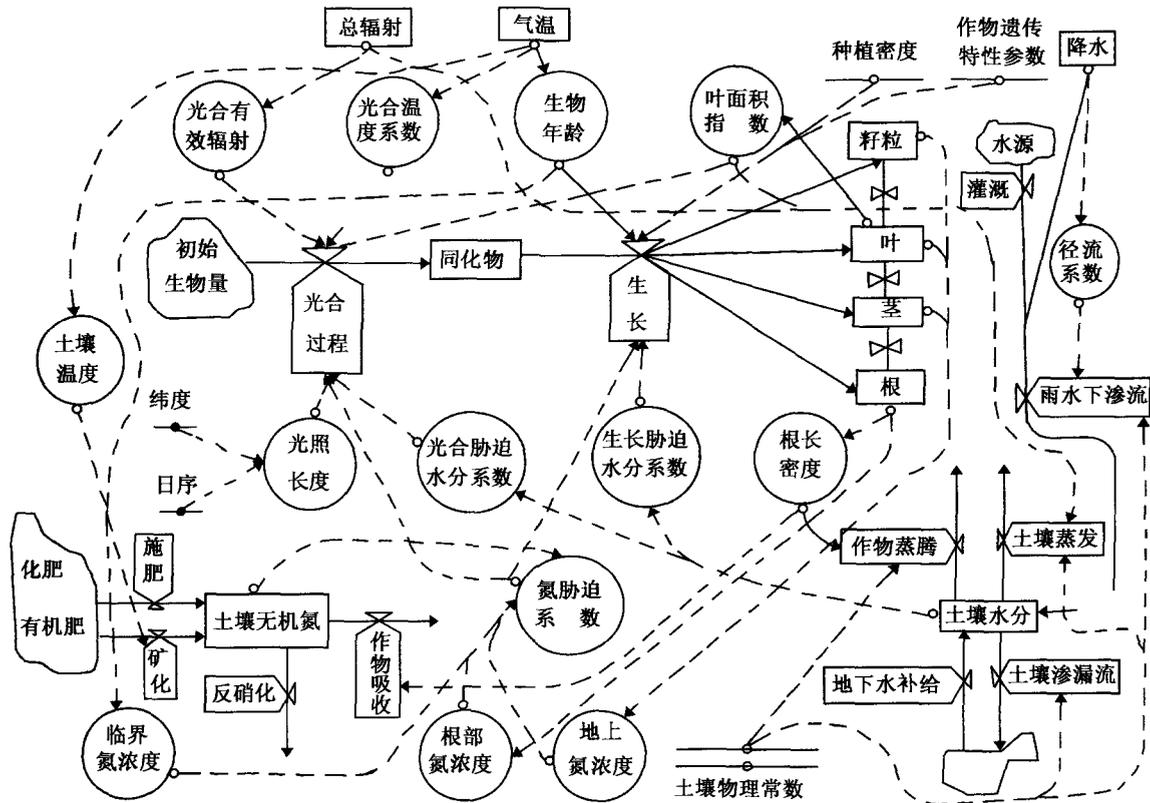


Fig. 1 Relationships of maize digital simulator.

总辐射: Total radiation; 气温: Temperature; 光合有效辐射: Photosynthesis effective radiation; 光合温度系数: Photosynthesis temperature coefficient; 生物年龄: Biological age; 叶面积指数: Leaf area index; 种植密度: Planting density; 作物遗传特性参数: Crop genetic characteristic parameters; 降水: Precipitation; 籽粒: Grain; 水源: Water; 灌溉: Irrigation; 初始生物量: The initial biomass; 光合过程: Photosynthesis; 同化物: Assimilation; 生长: Growth; 叶: Leaf; 茎: Stem; 根: Root; 径流系数: Runoff coefficient; 雨水下渗流: Rain water seepage; 土壤温度: Soil temperature; 纬度: Latitude; 日序: Day sequence; 光照长度: The length of illumination; 光合胁迫水分系数: Photosynthetic moisture stress factor; 生长胁迫水分系数: Growth moisture stress factor; 根长密度: Root length density; 作物蒸腾: Crop transpiration; 土壤蒸发: Soil evaporation; 化肥: Fertilizer; 有机肥: Organic fertilizer; 施肥: Fertilization; 矿化: Mineralization; 土壤无机氮: Soil inorganic nitrogen; 反硝化: Denitrification; 临界氮肥浓度: Critical nitrogen concentration; 作物吸收: Crop absorption; 氮胁迫系数: Nitrogen stress factor; 根部氮浓度: Root nitrogen concentration; 地上氮浓度: Ground nitrogen concentration; 土壤物理常数: Soil physical constants; 地下水补给: Ground water recharge; 土壤渗漏流: Soil leakage flow; 土壤水分: Soil moisture; 土壤蒸发: Soil evaporation.

阶段,以及以外部形态特征变化为标志的生育时期模拟。干物质积累、分配过程,主要是针对植株光能利用与同化物分配,包括光合作用、呼吸作用、同化物分配和器官生长的模拟等。

玉米模拟器应用面向对象方法,设计的种类包括:玉米类(corn)、土壤类(soil)、天气类(weather)、灌溉类(irrigation)、施肥类(fertilizer)、氮类(nitrogen)和水类(water)。其中,玉米类(corn)是聚合类,由根类(root)、茎类(stem)、叶类(leaf)、雄蕊类(flower)和穗类(cob)组成。模拟模型类的主要

属性有玉米标识符(corn ID)、名称(corn Name)、生长发育阶段(stage)等。模拟模型类的主要方法有数据输入(input Data)、初始化(initiate)、氮转换(transN)、光温利用(solt)、水平衡(watBal)、生长(growSub)和发育(phenol)等。

3 玉米生长发育三维可视化组件模型系统

玉米生育可视化组件模型的主要目标是对玉米生长发育过程进行三维模拟显示。软件设计应

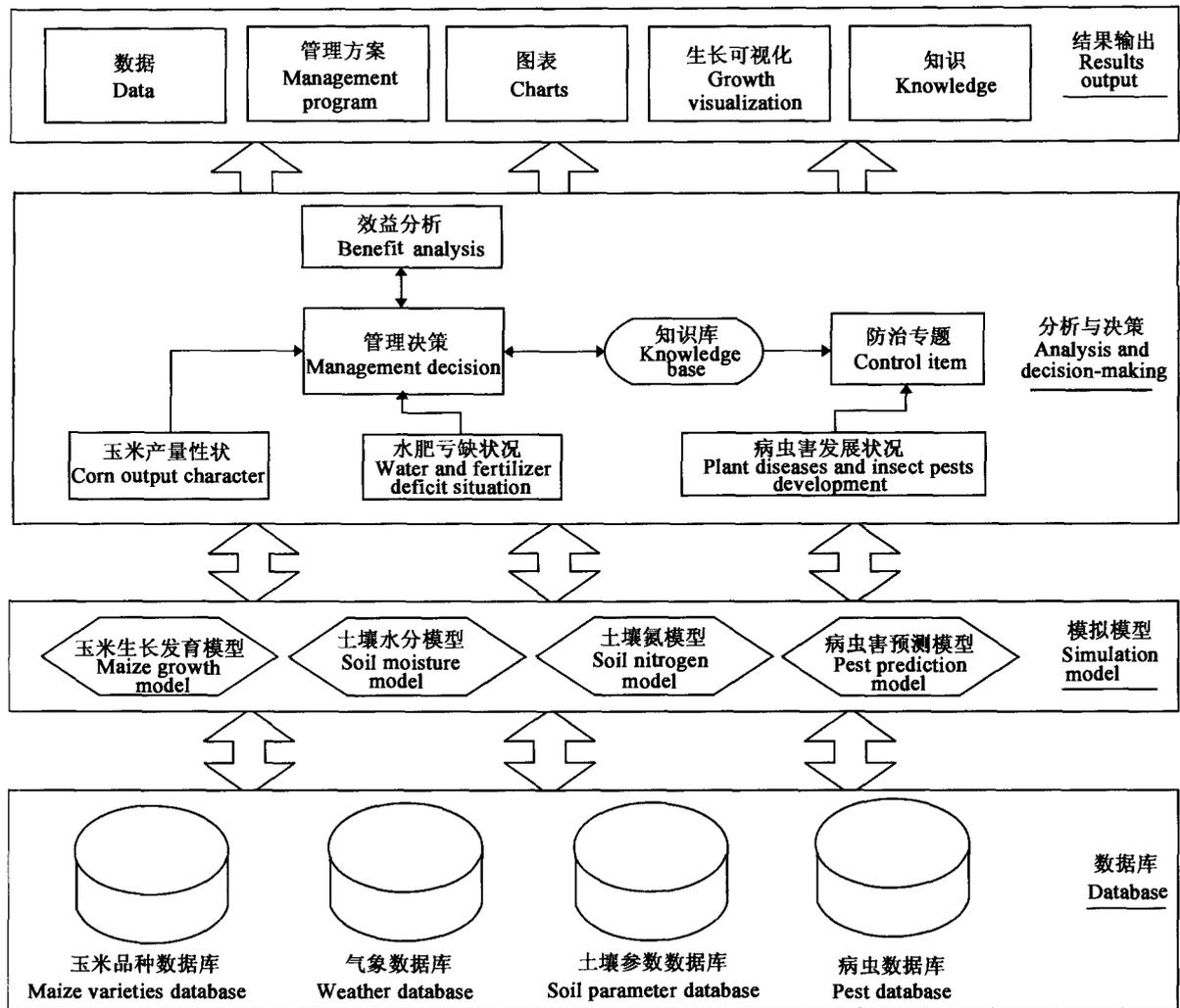


图 2 玉米数字模拟器结构图

Fig. 2 Structure of maize digital simulator.

用三维动画技术,通过分析作物生长发育规律,并根据实际作物生长数据来逼真地模拟作物生育的可视化过程。其工作过程是:模拟模型将模拟结果存于数据库中,玉米生长发育可视化组件,首先应用 MFC 标准的读取数据库的方法读取作物生长发育过程数据库的数据,应用 MFC 标准可以支持多种常用的源数据,然后使用 3DMAX 软件建立作物的基本模型,并在程序中读取模型数据,建模决定了图象显示的逼真程度。玉米模型包括种子、根、茎、叶、穗和雄蕊等几部分。这些基本模型为三维动画模拟显示做好准备;根据作物的生长发育规律和数据库中的数据,以及 3DMAX 的基本模型,模拟生长过程,动态显示播种、发芽、出苗、生长、抽丝、灌浆、成熟;显示内容包括:种子、根、茎、叶、穗和雄蕊等生理变量和降雨、土壤水分

含量、土壤硝态氮含量、土壤铵态氮含量等环境变量。在此采用了刚体运动学的方法和柔性系统的方法,包括:缩放、长高、生长、平移、旋转、颜色改变、形状整体改变等。最后是三维动画显示的控制功能及作物形态显示控制功能,此部分可以根据参数控制作物形态。三维动态可视化功能在单机和网络环境中均可运行(见图 3)。

4 模拟实验

利用玉米主产区的大量田间实际实验数据,对数字化玉米种植管理系统中的模拟器进行了适应性验证。以河北省 2002 年和 2003 年连续 2 年的实验结果为基础,在对模型主要参数进行修正之后,分别对这 2 年的玉米生长生育时期、生物

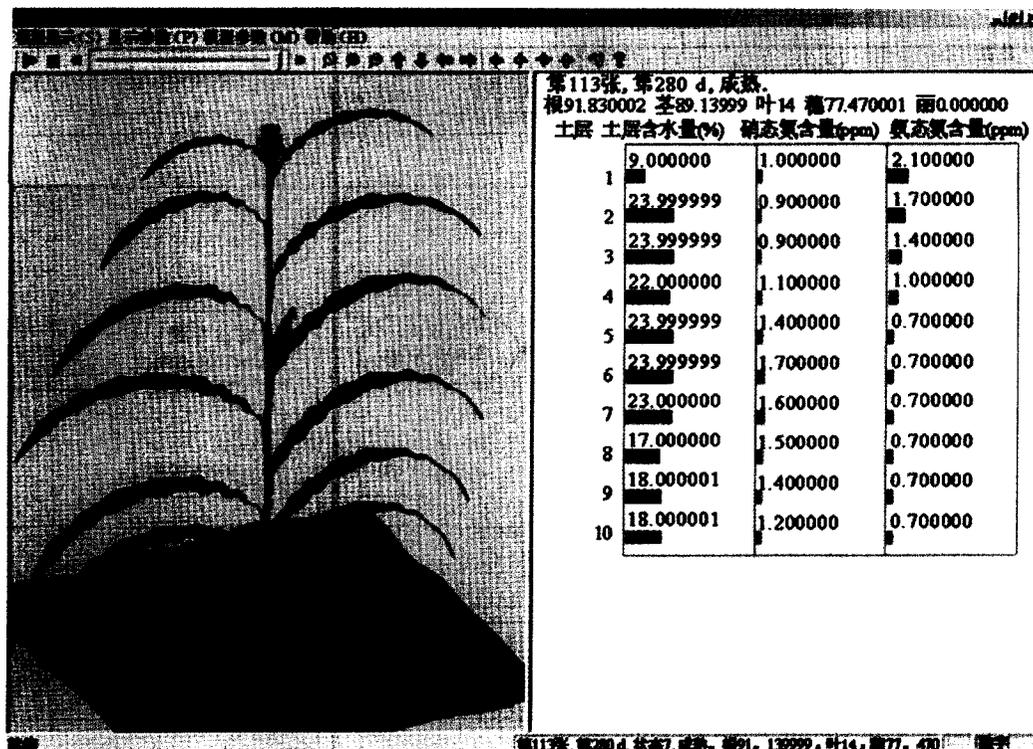


图3 玉米模拟三维可视化输出示意图

Fig.3 3D visualization show for maize simulation.

量、产量进行了模拟。结果显示:本系统对玉米主要生育期、籽粒产量和生物产量的模拟结果与大田实际符合性比较好,生育期相对误差在5%之内,籽粒产量和生物产量相对误差基本都在10%以内(图3,图4)。该验证结果表明,数字化玉米

种植管理系统对生育期、籽粒产量和生物产量的预测相对比较理想。系统对玉米主要生育期、籽粒产量、生物产量的模拟值与实测值的比较结果见表1,图3和图4。

表1 玉米吐丝日期和成熟日期的预测值(PR)与实测值(OB)比较

Table 1 Comparison of predicted and observed days after sowing for maize silking and maturity.

施氮量 N rates (kg · hm ⁻²)	吐丝期 Silking				成熟期 Maturity				
	预测值 Predicted	观测值 Observed	PD	PD%	预测值 Predicted	观测值 Observed	PD	PD%	
2002	0	61	64	-3	-5	112	115	-3	-3
	90	61	61	0	0	112	113	-1	-1
	180	61	61	0	0	112	113	-1	-1
	270	61	60	1	2	112	113	-1	-1
	360	61	59	2	3	112	111	1	1
2003	0	59	63	-3	-5	109	111	-2	-2
	90	59	63	-2	-3	109	111	-2	-2
	180	59	62	-3	-5	109	110	-1	-1
	270	59	61	-4	-6	109	108	1	1
	360	59	61	-4	-6	109	108	1	1

PD:预测偏差,即绝对误差

PD:prediction deviation, absolute error.

PD%:预测偏差百分比,即相对误差

PD%:percentage prediction deviation, relative error.

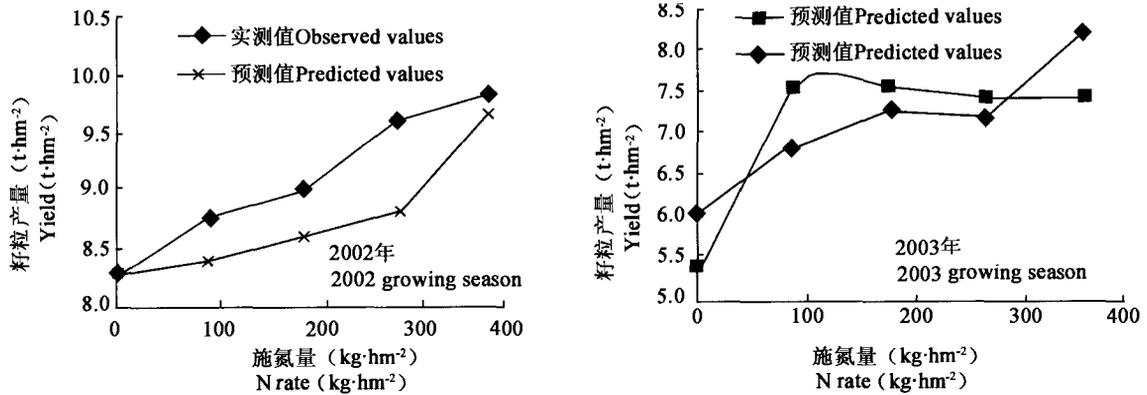


图3 玉米产量预测值与实测值比较

Fig. 3 Comparison between predicted grain yield of maize and the observed values.

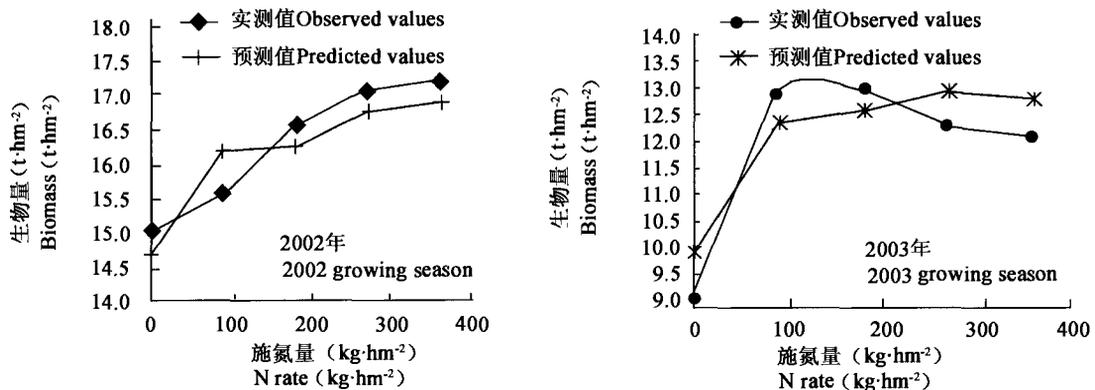


图4 玉米生物量预测值与实测值比较

Fig. 4 Comparison between predicted biomass of maize and the observed values.

5 讨论

玉米生产系统是一个复杂而独特的多因子动态系统,受气象、土壤、品种、栽培技术和病虫害等多种因素的影响,表现为显著区的域性和时空变异性。而农业生产条件总是处在不停的变动之中,特别是天气的频繁变化,使导出的结论存在不确定性;应用数字化技术开展基于作物模型和知识模型的应用研究,能定量地分析作物环境系统的动态特性,系统地分析资源利用、物质和经济产出之间错综复杂的相互反馈关系。本文研制的玉米模拟器是一款适应性广、决策性强的智能栽培软件,为玉米生产管理的现代化和信息化提供了新的方法和手段;将促进玉米生产管理由经验性管理向智能化、数字化管理转变,提高玉米的生产效率,也为玉米生产数字化设计、育种、教学提供了一种信息技术工具。在我国人均自然资源不足的情况下,应用数字化技术研究种植制度和作物管理问题,能进一步解析作物的生长规律和管理

措施的合理性,而且对于农业的可持续发展,可产生重要的社会效益和经济效益。

参 考 文 献

- [1] Gore A. The digital earth: understanding our planet in the 21st century [EB/OL]. <http://www.digitalearth.gov/speech.html>, 1998.
- [2] 贾敬教. 中国数字农业与农村信息化发展战略研讨会文集 [C]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [3] 唐世浩, 朱启疆, 闫广建, 等. 关于数字农业的基本构想 [J]. 农业现代化研究, 2002, 23(3): 183-187.
- [4] 魏 玮. “数字农业”与我国农业的可持续发展 [J]. 农业经济问题探索, 2003, (11): 71-72.
- [5] 高亮之. 农业模型学基础 [M]. 香港: 天马图书出版公司, 2004.
- [6] 谢 云, Kiniry J R. 国外作物生长模型发展综述 [J]. 作物学报, 2002, 28(2): 190-195.
- [7] 诸叶平, 孙开梦, 李世娟, 等. 小麦-玉米连作智能决策系统研究 [A]. 见: 许世卫主编. 农业信息技术与信息管理 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [8] 诸叶平. 多媒体小麦管理系统 [A]. 见: 梅方权主编. 走向 21 世纪的农业科技信息 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1997.
- [9] Blackmo B S. Outlook on agriculture [J]. Precision Farming, 1994, 23(4): 275-280.