

文章编号: 1005-0906(2003)02-0066-05

我国玉米计算机模拟模型研究进展*

郑国清¹, 张瑞玲², 高亮之³

(1. 河南省农业科学院农业经济信息研究所, 郑州 450002; 2. 洛阳师范学院计算机科学系, 洛阳 471001;

3. 江苏省农业科学院农业现代化研究所, 南京 210014)

摘要: 玉米生长发育计算机模拟模型研究在我国起步较晚, 与国外存在较大差距, 但近年来发展迅速。本文首次全面系统地综述了我国玉米生长发育计算机模拟模型研究进展, 分析了我国玉米模型研究中存在的问题, 展望了今后我国玉米模型研究的发展方向。

关键词: 玉米; 模拟模型; 进展

中图分类号: S513.0-39

文献标识码: A

Progress and Perspective in Maize Growth Simulation Model in China

ZHENG Guo-qing¹, ZHANG Rui-ling², GAO Liang-zhi³

(1. Institute of Agricultural Economic & Agro-information, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002; 2. Department of Computer Science, Luoyang Teachers College, Luoyang 471001;

3. Institute of Agricultural Modernization, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: In our country, maize growth simulation model was a newly established in corn research area. Although it has developed rapidly in recent years, there are wide gaps between China and other countries. In this paper, we gave a comprehensive and systematical overview of the native research of maize growth simulation model, analyzed the questions of present maize models, and put forward direction in the research of maize growth simulation model in the future.

Key words: Maize; Simulation Model; Progress and Perspective

1965年, 荷兰 de Wit 研制成功玉米光合生产计算机模型^[1]; 1967年, 美国 Duncan 等^[2]发表了玉米叶面积与叶片角度对群体光合作用影响模型。这标志着玉米生长发育模拟模型研究的开始, 同时也是世界上最早用完整程序编写、能在计算机上模拟作物群体生产过程的作物模型。

我国作物模拟技术研究起步较晚, 对玉米模拟模型研究起步更晚, 与国外存在较大差距。1987年, 山东省农业科学院高新学等^[3]发表了“玉米光强的光合速率的数学模型分析”; 1990年, 中国农业科学院曹永华等^[4]研制成功“防御玉米低温冷害专家系统(PMLTCD)”, 曹永华于20世纪80年代末90年代初将美国 CERES-Maize 模型引入我国并进行汉化^[5]; 由此, 我国学者开始对玉米生长发育各主要生理生态过程进行模拟研究。近年来, 又在玉米栽培智

能信息系统研制开发和玉米遗传育种模型分析等方面进行了探索。

1 玉米生长发育主要生理生态过程模拟

1.1 主要生理生态过程模拟

主要生理生态过程模拟是玉米生长发育计算机模拟研究的最主要内容。20世纪90年代以来, 我国学者在这方面开展了深入细致的研究。

1992年, 北京农业大学赵明等^[6]建立了“玉米光合、蒸腾与生态因子的数学关系”, 中国农业科学院佟屏亚等^[7]建立了夏播玉米产量形成的动态模式; 1993年, 山东农业大学胡昌浩等^[8]研究了“夏玉米群体光合速率与产量的关系”; 1994年, 内蒙古农牧学院刘克礼等^[9]发表了“春玉米子粒干物质积累的数量分析”; 1997年, 北京师范大学孙睿等^[10]建立了“夏玉米光合生产模拟模型 SIMPSM”; 1998年, 中国科学院大气物理研究所于强等^[11]报道了“玉米株型与冠层光合作用的数学模拟研究”; 1999年, 沈阳农业大学尚宗波等^[12,13]对玉米生育综合动力模拟模式

收稿日期: 2002-10-12

作者简介: 郑国清(1964-), 男, 毕业于南京农业大学农学系, 获农学博士学位, 副研究员, 主要研究领域: 农业信息技术。获省级以上科技成果奖5项, 发表论文46篇, 出版著作3部。现系中山大学博士后, 研究领域: 生物信息学。

* 河南省自然科学基金资助项目(No.0111010600)

进行研究,利用气温、降水量和日照时数 3 个气象要素,建立了土壤水分动态模型,研究了土壤水过多或过少对作物生长的不利影响,确定了干旱对玉米生育的影响函数,并给出了干旱指标和适宜灌溉量的确定方法。提出的玉米发育子模式,由发育期动态模型、发育动态参数确定模型、叶龄动态模型和器官形成模型四部分组成,模式中考虑了前期的土温、土壤湿度和整个生长季内的气温 3 个环境因子,可以模拟出玉米出苗速度、发育速度、发育进程、叶龄指数以及各器官的发育特征等。2000 年,沈阳农业大学尚宗波等^[14]发表了“玉米生长生理生态学模拟模型”;南京农业大学郑国清等^[15]研制出“玉米发育期动态模拟模型”,证明了人们通常采用的两个温度参数 P、Q 之间有线性关系,从而将二者统一,为简化模型参数调整具有重要意义。

1.2 不同地区、不同土壤水分、养分状况对玉米生长发育的影响模拟

我国地域辽阔,从南到北、从东到西,气候、土壤等情况各异。为使玉米生长发育模拟模型研究符合各地实际情况,更好地指导生产实践,近年来,针对不同地区、不同土壤水分、养分状况对玉米生长发育的影响,广泛开展模拟研究,成绩斐然。

1995 年,西南农业大学石光森等^[16]研究了重庆市坡瘠地玉米高产模型;1996 年,内蒙古农牧学院邵生霞等^[17]研究了西北干旱地区玉米水模型,广东省土壤研究所郭庆荣等^[18]研究了黄土旱塬玉米产量与土壤水分关系数学模型;1997 年,湖南农业大学刘强等^[19]研究了红壤立体栽培模式中玉米氮、磷、钾配方施肥数学模型,中国科学院-水利部西北水土保持研究所李开元等^[20]研究了黄土高原南部旱作水分玉米产量潜势计算模型及其参数修正,黑龙江省农业科学院张洪全等^[21]就三江平原已垦沼泽地玉米高产农艺措施数学模型进行研究;1998 年,吉林省梨树县农业总站王贵满等^[22]就梨树县三个施肥类型区玉米施肥模型及有关参数进行研究,河南职技师院吴玉娥等^[23]研究了新乡市玉米氮磷效应模型及模拟寻优;华南农业大学钟克友等^[24,25]研究了广东玉米生产与气象条件关系的计算机模拟;1999 年,浙江农业大学杨京平等^[26]建立了稻田玉米生长发育的计算机仿真模型;2000 年,黑龙江省农业科学院王立志等^[27]研制了不同温度条件下玉米种子发芽的量化模型。所有这些研究,为玉米模型在各地实际应用将发挥重要作用。

1.3 大气中 CO₂ 浓度、酸雨、土壤水分过多、低温干旱等逆境对玉米生长发育的影响模拟

近年来,全球气候变暖、CO₂ 浓度增加,导致局部地区酸雨、降水过多、低温干旱严重。计算机模拟模型是研究这些逆境条件对玉米生长影响的重要手段。

1995 年,西南师范大学严重玲等^[28]模拟酸雨对绿豆、玉米生理生态特性影响;中国气象科学研究院王春乙等^[29]对大气中 CO₂ 浓度增加对玉米产量和品质的影响进行模拟研究;1997 年,华中理工大学戴天红等^[30]研究了玉米低温干燥的数学模拟,山东大学陈永等^[31]模拟酸雨对小麦和玉米种子萌发及幼苗发育的影响;1998 年,浙江农业大学杨京平等^[32]就土壤水过多对春玉米生长发育影响进行模拟研究;1999 年,莱阳农学院连政国等^[33]研究了玉米过热蒸汽薄层干燥数学模型;2000 年,沈阳农业大学傅俊范等^[34]研制出玉米弯孢菌叶斑病产量损失估计模型,山东省植物保护总站李明立等^[35]建立了混群杂草密度与玉米产量损失关系预测模型。逆境条件对玉米生长发育影响的模拟研究,对指导我国玉米生产更具有实际意义。

2 玉米栽培智能信息系统研制开发

1994 年,沈阳农业大学魏军等^[36]研制了基于 CERES-Maize 模型的“玉米生产管理专家咨询系统”;1995 年,刘克礼等^[37]建立了基于动态模拟模型的“春玉米优化栽培管理咨询系统 (MOCMCS)”;1997 年,东北农业大学刘海波等^[38]应用 CERES-Maizee 模型建立黑龙江省玉米生产管理信息咨询系统;1998 年,长春市农业科学院陈桂芬等^[39]研制出“多媒体玉米生产专家系统”;1999 年,吉林大学刘大有等利用知识工程的方法和技术,结合不确定性推理,充分考虑引起玉米病虫害发生的多种因素及因素中信息的不确定性,实现了一个面向农民的“玉米病虫害防治专家系统”^[40];尔后,研制出“多媒体玉米生产智能系统 MISMMap”^[41],包括多媒体玉米生产专家系统、数据库系统、农业生产区划系统和决策支持系统等,MISMMap 在吉林省榆树市、农安县和黑龙江省绥化市进行示范应用,成为领导管理、指挥玉米生产的助手和农民科学种田的好帮手,是农民身边随时能解答生产问题的玉米专家,深受农民欢迎。同年,沈阳农业大学金忠华等^[42]应用 Visual C++、Visual B、专家系统推理机和 CERES-Maize 模型建立了“玉米高产栽培多媒体专家系统 MESHYM”,该系统采用多媒体技术使一些不易表达的专家经验能恰当表述,预测功能强,专家系统咨询答案准确,系统界面清晰直观,操作方便;2001 年,吉林大学王荣

本等^[43]开发研制了“基于机器视觉的玉米施肥智能机器系统”，采用机器视觉识别大田玉米的生长状况，实现了大田玉米定时、定点、定量精确施肥和实现农业机组的视觉自主导航和无人驾驶。

此外，1998 年，辽宁省丹东农业科学院宋崇平等^[44]设计出“简明玉米杂交种信息咨询系统”，可根据品种名称、品种别名、育成单位、完成人员、亲本名称等在数据库中查找所有满足查询条件的已有记录，同时本系统还提供了根据自交系的名称、别名、育成单位、完成人员、主要特征特性等进行玉米自交系信息查询的功能，系统结构紧凑，全部文件可存放于一张 1.2 M 或 1.44 M 的软盘中，便于携带、安装，使用灵活方便。2000 年，太原理工大学信息工程学院高大明等^[45]研发出基于 Web 数据库的“网络化玉米专家系统”，降低了访问 Web 数据库和传送 Web 数据库信息到浏览器所用的时间、提高了系统运行效率。

3 玉米遗传育种模型分析

作物遗传育种计算机模拟模型研究，是作物模拟研究下一步的发展方向之一，国际上关于这方面研究的文献报道也很少，我国已有学者开始进行探索。2000 年，吉林农业大学杨伟光等^[46]采用增广 NC II 设计，对玉米株高、穗位进行了遗传模型测验：玉米株高不符合加性-显性模型，存在极显著显性效应和上位性效应，穗位符合加性-显性模型；增效、减效等位基因频率在雌、雄间的分配，株高差异显著，但穗位无明显差异；株高的遗传为超显性遗传，穗位的遗传为部分显性、隐性为增效基因。2001 年，吉林农业大学祁新等^[47]采用不完全双列杂交法，把 10 个自交系配成 24 个组合，对普通玉米的赖氨酸含量、淀粉含量、油分含量、蛋白质含量等 4 个品质性状的遗传模型、基因效应进行了研究：赖氨酸含量的遗传符合加性-显性模型，淀粉含量、油分含量、蛋白质含量符合加性-显性-上位性模型，4 个品质性状的遗传方式均以加性效应为主。同年，湖北大学陈建国等^[48]用广义遗传模型方法，研究了玉米对小斑病 T 小种抗性的遗传特性：玉米对小斑病 T 小种的核抗性主要受加性和显性效应控制，以显性效应为主；病斑数、病斑长和病级 3 个病害指标之间有极显著的正相关，相关性主要归因于加性效应，病斑数和病级之间还有显著的显性遗传相关。

4 其它方面

4.1 玉米株型模拟研究

1994 年，北京农业大学基础科学技术学院的裴鑫德^[49]建立了“玉米株型的判别模型”，根据玉米穗上叶夹角(x_1)、穗上叶叶向值(x_2)与棒三叶叶向值(x_3)三个指标，按紧凑型、近紧凑型、近松散型与松散型对玉米紧凑型进行四级分类。该模型采用的数学工具是逐步判别分析方法和 Bayes 判别函数。玉米株型判别模型的建立，为玉米株型遗传育种和玉米冠层光截获模拟分析提供了重要参考。

2001 年，华南农业大学章家恩等^[50]，用一元二次方程对玉米叶曲线进行描述，通过 C 语言程序对玉米株叶形态结构可视化模拟进行了初步研究，通过在田间原位(非破坏性地)测定植株叶片的空间坐标，运用计算机对玉米株叶形态与结构进行模拟，为研究作物群体的株叶形态及其时空分布规律提供帮助。作物株叶形态及群体结构的可视化模拟对理想株形选择、作物种植结构优化、农田环境调控，以及实现“在电脑上种植作物”等均具有重要的意义。

4.2 玉米根系生长模拟研究

1996 年，中国科学院上海植物生理研究所金明现等^[51]对玉米根系生长及向水性进行模拟研究，用面向对象程序设计(OOP)技术组建了玉米根系生长的三维模型，模拟了根系在不同土壤水分剖面以及有、无向地性响应时的生长过程，探讨了根系向水性产生的机制以及向水性与向地性之间的关系：玉米根系各单根受局部水势的影响而以不同速率伸长，造成总体的向水性；如果土壤剖面上的水势自下而上递减，由此引起的单根伸长速率的不均匀分布将使整个根系在总体上表现出收拢和一致向下的生长趋势，并导致下层的根量相对增加；根系的向地性虽能使上述趋势增强，但与向水性的机制完全不同。由于目前对田间作物根系进行系统、完整的观测还很难做到，对根尖区段的观测尤其困难，而该部位对环境变化又最敏感，因此根系生长模型可以弥补试验观测上的不足，为玉米生产根系生长管理决策提供参考。

4.3 玉米应力分形模拟研究

1997 年，洛阳工学院朱文学等^[52]研究了玉米应力裂纹的分形模拟；1999 年，朱文学等^[53]建立玉米应力裂纹扩展的分形模型及动力学分析；2000 年，朱文学等^[54]进行玉米应力裂纹的生成和扩展过程模拟。

4.4 玉米高产栽培数学模型研究

1994 年，沈阳师范学院党宝栋等^[55]进行了玉米栽培中的数学模拟分析。1995 年，东北师范大学刘湘南等^[56]研制出基于生物学原理的玉米遥感估产模型；内蒙古农牧学院高聚林等^[57]研究了“春玉米综合

栽培措施与产量关系模型”。1997年,黑龙江省气象科学研究所刘海波等^[58]应用 CERES-Maize 模型动态模拟黑龙江省玉米生长、发育及产量预测等。1998年,黑龙江八一农垦大学冷志杰等建立了不同熟期大豆、玉米间作的产量产值数学模型^[59],运用双重组合设计建立黑龙江省玉米降水产量模型^[60]。1999年,黑龙江省农业科学院于桂霞等^[61]研究旱地玉米高产综合农艺措施数学模型;福建省三明市农科所涂前程等^[62]就闽单 88 研制出玉米高产制种综合农艺措施的数学模型。2000年,四川省绵阳市农科所余先驹等^[63]应用 AMMI 模型研究玉米区域试验,甘肃省张掖地区农业科学研究所石建国^[64]研究了河西灌区玉米间套作吨粮栽培综合农艺措施数学模型;吉林农垦特产高等专科学校姚运生等^[65]对玉米植株形态生长进行模拟研究。2001年,广西大化县农业局潘启寿等^[66]研究正大 619 玉米高产栽培模型。

5 玉米模型研究存在的问题及今后发展趋势

5.1 存在的主要问题

综合上述玉米模拟模型国内研究现状,不难看出:近年来,我国学者在玉米生长生理生态过程模拟模型研究方面取得较大进展,在基于模拟模型建立玉米生产管理专家系统或咨询专家系统等玉米生产专家系统方面也做了大量工作,但均不够深入和系统,这主要表现在以下几个方面:

(1)建立玉米生产专家系统所基于的模型大多采用 CERES-Maize 而较少有自己研制的模拟模型。

(2)对玉米生长发育某些生理过程及产量形成所建立的模型大多属于经验性模型,缺乏机理性。

(3)对玉米主要生理过程的机理性模拟研究虽然做了不少工作,但不够全面、深入,缺乏系统性。

(4)没有将玉米模拟研究与玉米栽培优化原理及农业专家系统等相结合。

5.2 发展趋势

进入 20 世纪 90 年代后,作物模拟迅速发展及在农业上的应用,已引起人们广泛注意和日益重视。计算机多媒体技术、网络技术及“3S”技术等高新技术的发展,为玉米栽培管理计算机模拟研究注入新的活力。从生理生态过程模拟到面向对象的生长模拟、虚拟生长、模拟的可视化研究,将玉米栽培管理计算机模拟研究与专家系统、大气环流模型、“3S”技术、多媒体技术等进行耦合与集成,乃玉米栽培管理计算机模拟研究的最新发展趋势。

(1)与专家系统(Expert System)结合。将农业专

家系统与作物模拟技术结合起来,使两者优势互补,相得益彰,是农业决策研究中的一条有效途径。这方面一个成功的实例是美国研制的棉花生产管理系统(GOSSYM/COMAX)。

(2)与大气环流模型(GCMS)相结合。目前,全球气候变化及其影响评价已成为国际学术界最为活跃的研究领域之一,将大气环流模型(GCM)与作物模型(用作效应模型)结合起来,用以模拟各种作物在气候变化条件下的生长发育和产量形成,是这一研究领域普遍采用的技术路线,舍此而没有更好的方法。

(3)与“3S”技术相结合。“3S”技术系指 RS(Remote Sensing,遥感)、GIS(Geographical Information System,地理信息系统)和 GPS(Global Positional System,全球定位系统)。3S 技术在农业上的应用,都离不开作物模拟技术。如遥感估产,涉及到大量的遥感资料处理问题,作物模拟技术将是一种不可缺少的得力工具。GIS 与作物模拟、农业专家系统等有机结合,可辅助用户进行各种决策,成功的典范是 1995 年德国慕尼黑技术大学和美国佛罗里达大学联合开发的“农业与环境的地理信息系统(AEGIS)”。

(4)与多媒体技术(Multi Media)相结合。将玉米栽培管理计算机模拟研究与计算机多媒体技术相结合,可声像并茂、生动形象地描述作物生长发育动态,使用户更加全面、准确地理解作物生长发育与环境因子的反应过程,掌握作物生长规律,指导生产实践,是模型推广应用的有效手段。

(5)与国际互联网(Internet)相结合。随着 Internet 的发展和普及,将作物模拟技术与 Internet 相结合,是应用作物模拟技术指导农业生产及时、迅速、价廉的有效手段,也是模型推广的重要途径。

参考文献:

- [1] C.T. de Wit. Photosynthesis of Leaf Canopies[M]. Agric. Res. Report, Wageningen, 1965.
- [2] W. G. Duncan et al. A Model for Simulation Photosynthesis in Plant Communities[J]. Hilgardia, 4(1967): 1-32.
- [3] 高新学,等. 玉米光强-光合速率的数学模型分析[J]. 山东农业科学, 1987(3): 1-3.
- [4] 曹永华,等. PLMTCD 专家系统的结构和应用[J]. 中国农业气象, 14(1): 48-52.
- [5] 曹永华. 美国 CERES 作物模拟模型及其应用[J]. 世界农业, 1991(9): 52-55.
- [6] 赵明,等. 夏玉米个体生长发育中叶片光合速率的动态特征[J]. 作物学报, 1992, 18(5): 337-343.
- [7] 佟屏亚,等. 夏播玉米产量形成动态模式的研究[J]. 玉米科学, 1992, 创刊号, 23-26.

- [8] 胡昌浩,等. 高产夏玉米群体光合速率与产量关系的研究[J]. 作物学报, 1993, 19(1):63-69.
- [9] 刘克礼,等. 春玉米子粒干物质积累的数量分析[J]. 华北农学报, 1994, 9(4):17-22.
- [10] 孙睿,等. 夏玉米光合生产模拟模型初探[J]. 中国农业气象, 1997, 18(20):20-23.
- [11] 于强,等. 玉米株型与光合作用的数学模拟研究: I. 模型与验证[J]. 作物学报, 1998, 24(1):7-15.
- [12] 尚宗波,等. 玉米生育综合动力模拟模式研究 I. 土壤水分影响子模式[J]. 中国农业气象, 1999, 20(1):1-5.
- [13] 尚宗波,等. 玉米生育综合动力模拟模式研究 II. 玉米发育子模式[J]. 中国农业气象, 1999, 20(1):6-10.
- [14] 尚宗波,等. 玉米生长生理生态学模拟模型[J]. 植物学报, 2000, 42(2):184-194.
- [15] 郑国清,等. 玉米发育期动态模拟模型[J]. 江苏农业学报, 2000, 16(1):15-21.
- [16] 石光森,等. 重庆市坡瘠地玉米高产模型研究[J]. 西南农业大学学报, 1995, 17(2):141-145.
- [17] 邵生霞,等. 西北干旱地区作物——水模型的确认[J]. 内蒙古水利, 1996(3):19-22.
- [18] 郭庆荣,等. 黄土旱塬玉米产量与土壤水分关系数学模型研究[J]. 水土保持研究, 1996, 3(3):136-140.
- [19] 刘强,等. 红壤立体栽培模式中玉米氮、磷、钾配施施肥数学模型的研究[J]. 土壤与环境, 1997, 6(3):151-156.
- [20] 李开元,等. 黄土高原南部旱作水分产量潜势计算模型及其参数修正[J]. 应用生态学报, 1997, 8(1):43-48.
- [21] 张洪全,等. 三江平原已垦沼泽地玉米高产农艺措施数学模型研究[J]. 玉米科学, 1997, 5(1):44-46.
- [22] 王贵满,等. 梨树县三个施肥类型区施肥模型及有关参数的研究[J]. 吉林农业科学, 1998(1):62-66.
- [23] 吴玉娥,等. 新乡市玉米氮磷效应模型及模拟寻优[J]. 河南职业技术学院学报, 1998, 26(1):12-17.
- [24] 钟克友,等. 广州地区玉米生产与气象条件关系的计算机模拟分析[J]. 广东农业科学, 1998(5):8-10.
- [25] 钟克友,等. 广东玉米生产气象条件的计算机模拟分析[J]. 华南农业大学学报, 1999, 20(2):96-100.
- [26] 杨京平,等. 稻田玉米生长发育的计算机仿真模型[J]. 系统仿真学报, 1999, 11(5):391-394.
- [27] 王立志,等. 不同温度条件下玉米种子发芽的量化模型[J]. 中国农业气象, 2000, 21(3):36-38.
- [28] 严重玲,等. 模拟酸雨对绿豆、玉米生理生态特性的影响[J]. 应用生态学报, 1995, 6(Supp.):124-131.
- [29] 王春乙,等. 模拟大气中 CO₂ 浓度增加对玉米产量和品质影响的试验研究[J]. 环境科学学报, 1996, 16(3):331-336.
- [30] 戴天红,等. 玉米低温干燥的数学模拟[J]. 北京化工大学学报, 1997, 24(3):39-45.
- [31] 陈永,等. 模拟酸雨对小麦和玉米种子萌发及幼苗发育的影响[J]. 山东环境, 1997(4):13-15.
- [32] 杨京平,等. 信息土壤水分过多对春玉米生长发育影响的模拟模型研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 1998, 24(3):227-232.
- [33] 连政国,等. 玉米过热蒸汽薄层干燥数学模型[J]. 农业机械学报, 1999, 30(6):68-72.
- [34] 傅俊范,等. 玉米弯孢菌叶斑病产量损失估计模型的研制[J]. 沈阳农业大学学报, 2000, 31(5):268-471.
- [35] 李明立,等. 混群杂草密度与玉米产量损失关系预测模型[J]. 山东农业科学, 2000(3):34-35.
- [36] 魏军,等. 玉米生产管理专家咨询系统的研究[J]. 玉米科学, 1994, 2(1):45-47.
- [37] 刘克礼,等. 春玉米优化栽培管理咨询系统(MOCMCS)[J]. 内蒙古农牧学院学报, 1995, 16(增):1-10.
- [38] 刘海波,等. 黑龙江省玉米生产管理信息咨询系统[J]. 东北农业大学学报, 1997, 28(3):243-249.
- [39] 陈桂芬,等. 多媒体玉米生产专家系统的研制与应用[J]. 农业与技术, 1998(1):9-12.
- [40] 刘大有,等. 玉米病虫害防治专家系统[J]. 计算机研究与发展, 1999, 36(1):36-41.
- [41] 刘大有,等. 多媒体玉米生产智能系统的研制与应用[J]. 计算机研究与发展, 1999, 36(1):42-46.
- [42] 金忠华,等. 玉米高产栽培多媒体专家系统的研制[J]. 沈阳农业大学学报, 1999, 30(1):9-12.
- [43] 王荣本,等. 基于机器视觉的玉米施肥智能机器系统设计概述[J]. 农业工程学报, 2001, 17(2):151-153.
- [44] 宋崇平,等. 简明玉米杂交种信息咨询系统的设计与实现[J]. 玉米科学, 1998, 6(4):70-72.
- [45] 高大明,等. 网络化的玉米专家系统中 Web 数据库的实现[J]. 太原理工大学学报, 2000(5):477-480.
- [46] 杨伟光,等. 玉米株高和穗位遗传模型测验[J]. 吉林农业大学学报, 2000, 22(4):28-31, 44.
- [47] 祁新,等. 玉米品质性状的遗传模型分析[J]. 吉林农业科学, 2001, 26(3):32-35.
- [48] 陈建国,等. 玉米对小斑病 T 小种抗性的遗传模型分析[J]. 玉米科学, 2001, 9(4):70-72.
- [49] 裴鑫德. 玉米株型的判别模型[J]. 华北农学报, 1994, 9(2):1-8.
- [50] 章家恩,等. 玉米株叶形态结构的可视化模拟初步研究[J]. 华南农业大学学报, 2001, 22(4):5-7.
- [51] 金明现,等. 玉米根系生长及向水性的模拟[J]. 植物学报, 1996, 38(5):384-390.
- [52] 朱文学,等. 玉米应力裂纹的分形模拟[J]. 中国农机化, 1997, Supp.:48-54.
- [53] 朱文学,等. 玉米应力裂纹扩展的分形模型及动力学分析[J]. 农业机械学报, 1999, 30(3):48-52.
- [54] 朱文学,等. 玉米应力裂纹的生成和扩展过程模拟[J]. 农业工程学报, 2000, 16(1):113-116.
- [55] 党宝栋,等. 玉米栽培中的数学模拟分析[J]. 辽宁大学学报(自然科学版), 1994, 21(2):89-93.
- [56] 刘湘南,等. 基于生物学原理的玉米遥感估产模型[J]. 东北师大学报(自然科学版), 1995(2):110-114.
- [57] 高聚林,等. 春玉米综合农艺栽培措施与产量关系模型的研究[J]. 内蒙古农牧学院学报, 1995, 16(增):11-16.
- [58] 刘海波,等. CERES 玉米模拟模式评价及其应用[J]. 黑龙江气象, 1997(1):22-25.
- [59] 冷志杰,等. 不同熟期大豆、玉米间作的产量产值数学模型的建立[J]. 吉林农业大学学报, 1998, 20(1):16-19.
- [60] 冷志杰,等. 运用双重组合设计建立黑龙江省玉米降水产量模型[J]. 生物数学学报, 1998, 13(2):244-248.
- [61] 于桂章,等. 旱地玉米高产综合农艺措施数学模型的研究[J]. 玉米科学, 1999, 7(4):35-39.
- [62] 涂前程,等. 玉米闽单 88 高产制种综合农艺措施的数学模型[J]. 福建农业大学学报, 1999, 28(3):274-278.
- [63] 余先驹,等. AMMI 模型在玉米区域试验中的应用[J]. 绵阳经济技术高等专科学校学报, 2000, 17(1):14-19.
- [64] 石建国. 河西灌区玉米间套作吨粮栽培综合农艺措施数学模型的研究及应用[J]. 玉米科学, 2000, 8(3):46-50.
- [65] 姚运生,等. 玉米植株形态生长的模拟[J]. 玉米科学, 2000, 8(Supp.):30-32.
- [66] 潘启寿,等. 正大 619 玉米高产栽培模型试验研究与应用[J]. 广西农学报, 2001(1):11-14.