

基于 Web 的温室作物模拟系统的实现

杜克明¹, 孙忠富^{1*}, 王迎春¹, 苏晓峰^{1,2}, 褚金翔¹

(1. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; 2. 北京理工大学自动控制系, 北京 100081)

摘要: 基于 Web 技术、OOP(面向对象设计)思想, 根据作物生长发育模型特点, 提出了计算机模拟系统的结构设计方案, 并采用 ASP.NET 技术规范和 Visual C# 程序语言, 初步实现了一个基于 Web 技术远程调用的温室作物生长发育计算机模拟系统, 该系统目前可对番茄和黄瓜等温室作物光合作用、干物质积累与分配等过程进行模拟与分析。

关键词: Web 技术; 作物模型; ASP.NET 技术; 作物模拟系统; 温室控制

中图分类号: S625.5⁺ 1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1002-6819(2006)08-0256-04

杜克明, 孙忠富, 王迎春, 等. 基于 Web 的温室作物模拟系统的实现[J]. 农业工程学报, 2006, 22(7): 256-259.

Du Keming, Sun Zhongfu, Wang Yingchun, et al. Web-based simulation system for greenhouse crops[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(8): 256-259. (in Chinese with English abstract)

0 引言

模型是真实系统的简单表示^[1]。作物模型是指作物生长发育系统与其环境因子之间交互关系的一种逻辑的或定量的表达。作物模拟则是作物生长发育过程的计算机模拟与实现, 是近 40 年来迅速发展起来的一项新技术, 是将系统科学和计算机技术引入到作物科学的结晶^[2]。设施园艺作物模拟研究大致开始于 20 世纪 70 年代末, 较大田作物模拟技术研究晚了近十年, 研究基础相对薄弱^[3]。

随着计算机技术为代表的农业信息技术的迅速发展, 作物模拟的研究开发已进入一个崭新阶段。处在作物模型研究前沿的国家已开发出多种成熟的作物生长模拟系统, 极大促进了相关农业领域生产管理的信息化的提高与发展。近年来中国设施园艺专家已开始认识到温室作物模型在温室生产的精准化控制和定量化管理中的重要作用, 并已开始付诸研究^[3,4]。随着国际互联网技术的发展和普及, 基于 Web 的各类农业信息系统正在成为重要的研发与应用平台。然而, 目前基于远程调用的和面向 Internet 用户开放的计算机作物模拟系统还非常缺乏, 尤其是关于温室园艺作物模拟系统的研究和开发更是如此, 这方面研究的滞后和缺乏极大影响了作物模型的研究和应用普及。国外已出现这方面的研究, 如美国伊利诺斯州大学开发的一个运用面向对象模块化设计和基于 Web 调用的作物模型模拟系统 OWSimu^[5,6], 丹麦农业大学开发的作物管理决策支持系统 PI@nteInfo^[7]等。但在中国目前尚未见公开的报道。

本研究利用新一代计算机程序设计语言 Visual C#、开发工具 Microsoft Visual Studio .NET 2003 和 ASP.NET 技术规范进行基于 Web 应用程序的开发, 生成 ASPX 页面文件、预编译组件 DLL 文件和配置文件等注册到 Web 服务器上, 最终实现一套基于 Web 的温室作物生长发育模拟系统。

1 系统的体系结构

本模拟系统采用 ASP.NET 技术实现 B/S(Browser/Server)

收稿日期: 2005-10-24 修订日期: 2006-02-26

基金项目: 国家高技术“863”项目(2004AA247040); 国家自然科学基金项目(30170538)共同资助

作者简介: 杜克明, 男, 硕士研究生, 研究方向: 环境控制与信息技术。北京 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 100081。Email: duke0371@163.com

*通讯作者: 孙忠富, 男, 博士, 博士生导师, 研究方向: 环境控制与信息技术。北京市中关村南大街 12 号 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 100081。Email: SUNZF@263.NET

体系结构(图 1)。用户操作则通过客户端浏览器(Browser)实现, 主要事务在服务器端(Server)实现, 数据存储、提取则在数据库服务器端实现, 形成三层(3-tier)结构。在这种结构中, 该模拟系统的一次完整运行应为: 用户登陆, 即通过浏览器向网络上的 Web 服务器发出请求, Web 服务器对浏览器的请求进行处理, 将用户操作主页面返回到浏览器; 用户模型参数的输入、配置、修改等操作, 完成后向 Web 服务器发出提交请求; 服务器对浏览器的数据提交请求进行处理, 即进行数据分析计算、数据库存取、动态页面生成等工作; 最后 Web 服务器将模型运行结果返回到客户端浏览器。

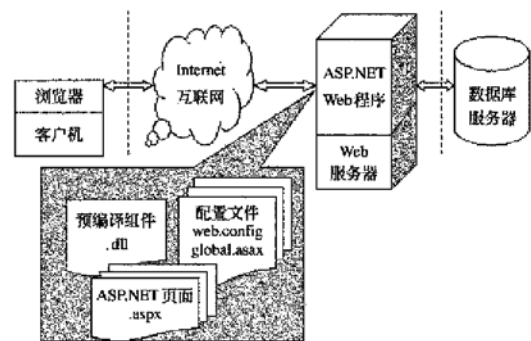


图 1 模拟系统的体系结构

Fig. 1 Structure of the simulation system

2 系统的执行流程

本模拟系统采用开发工具 Microsoft Visual Studio .NET 2003 和程序语言 Visual C# 开发完成所有的 Web 页面设计、服务器响应代码、流程布局构建和模型模拟的开发。该程序的用户操作流程(图 2), 可划分为 5 个步骤:

第一步, 选择气象数据文件。每个气象数据文件在数据库中以表的形式存储。作为研究的示例, 目前现有气象数据来自中国农业科学院蔬菜花卉研究所温室基地的试验现场资料。为了提高系统的灵活性, 在开始运行模拟系统前, 允许用户在线浏览、编辑系统的气象数据值并存入数据库, 同时也为使用其它试验数据提供了用户输入接口。并将编辑后和新输入的数据统一存入数据库以供后来操作者参考、调用, 为用户自行建立和丰富数据库提供了强有力的功能, 这是本模拟系统结合网络技术优势所实现的一个特色。

第二步, 选择是否使用固定作物大小进行模拟计算, 即选择是否使用初始干物重进行每日的模拟。如果选择 Yes, 则表示作物发育已经完成, 生长停止, 通过选定此选项来预测作物每天的

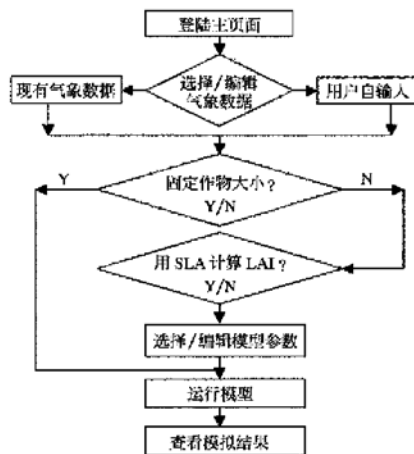


图 2 用户操作流程

Fig. 2 Flow chart of user operation

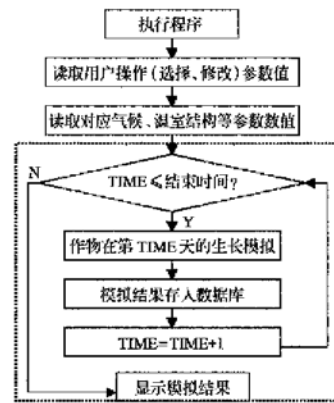


图 3 程序执行流程图

Fig. 3 Flow chart of the executing program

潜在生产率; 选择 No, 则表示每日的干物重为该日之前一天的干物重与前一天干物重增长量之和, 以此来进行每日的干物质积累模拟。

第三步, 选择是否通过比叶面积(SLA)进行叶面积指数(LAI)模拟。叶面积指数(LAI, $m^2 \cdot m^{-2}$), 即为单位土地上的叶面积总量; 比叶面积(SLA, $cm^2 \cdot g^{-1}$), 即为单位叶片重量的叶面积。选择 Yes, 则采用 $LAI = SLA \cdot LDW$ 的方法计算叶面积指数(LDW, $g \cdot m^{-2}$, 即单位面积叶片干重); 选择 No, 则直接使用参数表提供的叶面积指数。

第四步, 选择和编辑模型预设定的变量, 包括温室结构参数、作物生长机理参数和模拟时间参数等。

第五步, 到达此步已完成所有参数选定, 开始执行模拟, 输出模拟结果。图 3 为整个模拟程序执行流程。用户操作第五步后, 模拟系统进入作物生长发育动态模拟代码段的执行(图 3 中虚框部分), 也即该模拟系统的核心部分。

因文章篇幅有限, 本文仅以该模拟系统的主页面(图 4)和模拟结果数据输出页面(图 5)作图示, 其余操作页不一列举了。



图 4 模拟系统主页面

Fig. 4 Homepage of the simulation system

TIME	AVRAD	TMFA	CO2	FOAMX	EFF	LAI	GHDT	GRW	WTW	WTA	WRT	WLV	WST	WCO	WRT	WVE	WSTE	WGOE	DPARDF
232	14.55	26.41	402.63	1.6767	0.01234	0.23	3.366	2.426	6.029	8.494	6.27	1.803	0.375	0.861	6.27	1.803	0.375	1.526	
233	7.84	24.06	485.57	1.1208	0.01267	0.26	3.074	2.846	10.978	10.993	7.411	2.243	0.736	0.584	7.411	2.243	0.736	2.15	
234	10.33	23.25	416.31	1.2408	0.01284	0.58	4.234	2.643	13.32	13.005	6.054	2.817	1.315	0.726	6.054	2.817	1.315	2.213	
235	16.26	25.7	404.59	1.0759	0.01247	0.41	6.426	4.372	18.195	17.25	11.303	3.644	2.3	0.944	11.303	3.644	2.3	3.402	
236	14.4	26.15	415.26	1.2276	0.01263	0.51	7.363	4.365	25.182	21.569	13.911	4.515	3.535	1.193	13.911	4.515	3.535	3.273	
237	5.68	22.17	426.54	1.6514	0.01302	0.62	4.53	2.911	24.073	24.735	15.427	5.008	4.31	1.298	15.417	5.008	4.31	1.554	
238	12.34	24.93	290.43	1.9352	0.01135	0.68	7.253	4.777	30.852	28.275	17.665	5.781	5.420	1.577	17.665	5.781	5.629	0.849	
239	6.42	24.5	446.76	1.1363	0.01236	0.77	5.62	3.703	34.618	32.893	19.774	6.367	6.711	1.763	19.774	6.367	6.711	1.763	
240	25.8	24.34	397.12	1.837	0.0129	0.82	12.533	5.197	49.918	41.593	24.392	7.746	9.426	2.223	24.392	7.746	9.426	3.49	
241	23.15	24.27	392.23	1.8254	0.01236	0.95	14.024	10.06	53.691	51.192	29.371	9.191	12.37	2.728	29.371	9.191	12.37	2.620	
242	22.73	25.69	393.49	1.8526	0.01235	1.18	16.651	11.073	64.839	61.677	34.863	10.733	16.051	3.282	34.863	10.733	16.051	2.67	
243	21.48	25.31	393.84	1.8493	0.01231	1.33	17.931	11.802	76.764	72.892	40.638	12.336	19.919	3.672	40.638	12.336	19.919	2.693	
244	21.6	25.99	394.91	1.8491	0.01204	1.51	19.107	12.375	89.143	84.632	46.667	13.973	24.013	4.491	46.667	13.973	24.013	2.791	
245	19.23	26.04	386.13	1.8451	0.01226	1.56	19.706	12.702	101.647	96.722	52.617	15.609	28.269	5.126	52.617	15.609	28.269	3.633	
246	1.94	21.02	482.82	1.8361	0.0136	1.9	3.83	1.879	103.426	98.222	53.576	16.807	28.839	5.208	53.576	16.807	28.839	0.582	
247	18.08	25.79	382.26	1.83	0.01224	1.94	20.903	13.064	116.513	110.854	59.841	17.41	33.403	6.289	59.841	17.41	33.403	3.116	

图 5 模拟数据输出页面

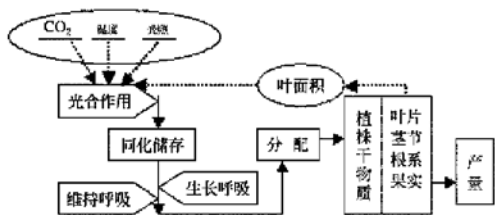
Fig. 5 Interface of simulated output data

作物模拟系统输出十几项数据指标(见图5),包括叶面积指数,作物生长速率,作物各器官干物质分配系数,温室内光合有效辐射模拟值,等等,通过上述指标,可以掌握作物主要生理生态指标变化规律,如干物质积累变化趋势、干物质分配变化规律、叶面积指数变化趋势、产量形成规律,等等。用户也可以通过本模拟系统输出的模拟数据与用户的实验测量数据进行比较,使之成为作物生长发育量化研究的工具。通过本模型系统,可动态模拟预测作物的各项指标,从而为作物栽培管理和环境控制提供依据。

3 系统的功能与应用

3.1 系统的功能

本模拟模型是在借鉴已有的研究成果 SUCROS87 模型^[8]和 HORTISIM 模型^[9]的技术方法的基础上,结合中国设施园艺作物生态环境实验数据的验证、修订,依据面向对象模块化设计原理,改进扩展形成目前的以环境要素模块(以太阳辐射、温度和 CO₂ 为主要环境变量因子)和作物生长发育模块(以作物光合作用模拟、呼吸作用模拟、干物质积累与分配的模拟为核心)为主的一套比较全面的设施园艺作物生长发育模拟系统(见图6)。因其依据作物生长发育的基本过程进行构建,因此具有很强的通用性和可扩充性。本模拟系统的研究与开发,为建立适合中国园艺作物以及基于 Web 作物模拟模型的研究奠定了重要的基础。



圆—参数 方框—状态变量 五边形—速率变量
实线—碳流动 虚线—信息流

图6 作物生长发育模型示意图

Fig. 6 Modeling scheme for crop growth and development

运用本模拟系统可实现以下三方面的功能:

1) 通过输入温室结构、温室环境参数和温室园艺作物生长机理等基本参数,即可模拟温室内园艺作物(如番茄和黄瓜等)生长发育动态过程,获得主要生理与形态发育的有关数据,如叶面积指数、干物质分配率、光合速率、呼吸消耗、潜在产量等重要数据。

2) 通过用户自设定输入参数值,可分析研究不同环境要素对植株发育的影响规律,为环境优化控制管理提供科学依据。

3) 本系统的作物模拟核心模块可集成到温室环境控制系统和温室智能化管理系统中,为控制系统和管理系统提供基于模型的支持。

3.2 系统实现的关键技术

本模拟系统采用的 B/S (Browser/Server) 体系结构。在这种结构下,登陆用户界面是通过浏览器 (Browser) 来实现的,主要事务在服务器端 (Server) 实现,形成三层 (3-tier) 结构(见图1)。该体系结构大大简化了客户端载荷;减轻了系统维护与升级的成本;无需部署客户端,无地域限制,面向所有 Internet 用户;同时因模拟程序仅运行在服务器端,更便于系统的管理、更新和推广应用,并提高了系统的安全性。

本模拟系统是由 Visual C# 语言编写的 ASP.NET Web 应用程序。程序语言 Visual C# 集成了功能完备的网络编程的支持,尤其在编写 ASP.NET Web 应用程序上,少量代码就可以完成其它大多程序语言几倍的代码方能完成的功能。ASP.NET 是

一种建立在通用编程语言上的程序构架,能被用于一台 Web 服务器来建立强大的 Web 应用程序;ASP.NET 是将程序在服务器端首次运行时进行编译,这样的执行效率要比逐条的即时解释快很多;ASP.NET Web 应用程序实现页面 HTML 代码与程序代码分离,因此可以更改网页显示布局而无需对程序代码重新编译;另外 ASP.NET 对平台无选择,可以使本模拟系统运行在几乎所有的 Web 服务器平台上。

本模拟系统所使用的开发工具 Microsoft Visual Studio.NET 2003,是一套功能完备的集成开发环境 (IDE),目前提供了对 Visual C#、Visual Basic.NET、Visual C++ .NET 语言的编译支持,因此该环境允许其上的多种编程语言共享工具和创建混合语言解决方案,便于模拟系统今后的维护与扩展。

本模拟系统的所有运行参数和模拟结果数据均存储在指定 SQL Server 数据库中,该类数据库易于海量数据的高速存储、检索,为本模拟系统在 Web 平台上长期、高效运行提供支持;而且数据不仅可以在本机存储,也可以在远程服务器存储,极大地方便了系统的应用与维护管理。

3.3 系统的应用

对于一个成熟的作物模型模拟系统,无论在教学领域、科学研究还是工程应用上均有不可替代的重要作用。

在教学领域,通过本系统的模拟过程和结果演示,为教学演示提供生动逼真的效果,让学生在短时间内了解温室园艺作物整个生命期的生长变化过程;同时通过剖析模型,也能深层了解温室园艺作物的生长发育过程与其环境和管理措施之间的交互关系。

在科研领域,本模拟系统对温室园艺作物生理和环境方面之间交互关系以及作物自身的特性进行模拟分析,获得对该作物清晰透彻的了解。利用本模拟系统的模拟试验验证,可对作物模型的参数进行灵敏度分析,并进一步优化设定,提高模型模拟的可靠性和通用性。

在工程应用方面,本模拟系统可以在优化管理技术和农艺措施,制定生产过程应变对策,进行生长发育预测,田间试验方案设计以及栽培、施肥、灌溉和病虫害处理等方面发挥重要作用。从宏观角度,可以帮助决策者对环境变化影响分析、大范围产量预测、资源合理利用、环境因子的优化组合、经济优化管理等方面发挥重要作用。

本系统也是将温室园艺作物模拟技术与网络技术结合的一个很好的探索与尝试。由于实现了基于 Web 技术的远程调用,用户只要能够访问 Internet 就可以方便地运行该模拟系统,不仅可方便地实现模型参数的本地化,而且也实现共享试验数据,极大地方便了对模型的研究、验证与使用。

4 结论与讨论

本研究的宗旨是构建并逐步实现一个综合完备的设施园艺作物生长发育动态模拟系统,通过采用基于 Web 技术、面向对象设计技术,为广大用户提供一个开放的平台和共享的模型试验数据库;为温室环境优化控制、科学栽培管理、计算机智能化管理提供基于模型的技术支持;同时也为作物模型研究、教学和应用提供一个强有力的工具。本研究目前初步完成了温室园艺作物模拟系统的构架设计与实现,为今后的进一步研究开发积累了经验,奠定了重要的基础。但本系统仍存在一些有待改善与加强之处,如用户自输入参数、模拟结果的图形化分析等功能尚未完全实现,这将在本系统的后续版本中陆续得到改进和扩展。

如何提高模型通用性和灵活性,使模拟系统能满足更多种类作物的需要,并提高作物模型自身的准确性,则更是一个相对长期的任务。

[参 考 文 献]

- [1] 潘学标. 作物模型原理[M]. 北京:气象出版社, 2003.
- [2] 曹宏鑫, 任德昌, 王旭清, 等. 作物生长发育过程的计算机模拟决策研究概述[J]. 山东农业科学, 2001(3).
- [3] 孙忠富, 陈人杰. 温室作物模型研究基本理论与技术方法的探讨[J]. 中国农业科学, 2002, 35(3): 320- 324.
- [4] 倪纪恒, 罗卫红, 李永秀, 等. 温室番茄发育模拟模型研究[J]. 中国农业科学, 2005, 38(6): 1219- 1225.
- [5] Pan X, Hesketh J D, Huck M G. OWSimu: an object-oriented and Web-based simulator for plant growth[J]. Agricultural Systems, 2000, 63, 33- 47.
- [6] Pan X, Hesketh J D, Huck M G. A web interface to databases associated with a plant growth simulator [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 1998, 21, 207- 217.
- [7] Jensen A L, Boll P S, Thysen Iver, et al. PI@nteInfo—a web-based system for personalized decision support in crop management [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25, 271- 293.
- [8] Spitter C J T, van Keulen H, van Kraalingen D W G. A simple and universal crop growth simulator: SUCROS87[A]. In: Simulation and systems management in crop protection[M]. Eds Rabbinge, SW Ward and H H van Laar. Simulation Monographs32. Prodoc, Wageningen, 1989: 147- 181.
- [9] Gijzen H, Heuvelink E, Challa H, et al. HORTISIM: A model for greenhouse crops and greenhouse climate[J]. Acta Horticulturae, 1998, 456: 441- 450.

Web-based simulation system for greenhouse crops

Du Keming¹, Sun Zhongfu^{1*}, Wang Yingchun¹, Su Xiaofeng^{1,2}, Chu Jinxiang¹

(1. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. Automatic Department, Beijing Institute of Science and Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: On the basis of Web techniques and Object Oriented Programming(OOP) concept, according to the characteristics of crop growth and development, a structural scheme of simulation system was designed. Making use of ASP.NET framework and Visual C# language, a Web-based simulation system for greenhouse crop growth and development was primarily realized, which could be used to simulate the growth and development of greenhouse crops such as tomato, cucumber related to the process of photosynthesis, dry matter accumulation and distribution, etc.

Key words: Web techniques; crop model; ASP.NET technology; crop simulation system; greenhouse control