

# 基于 Web 与模拟模型的水稻栽培数字化设计

曹宏鑫<sup>1</sup>, 杨余旺<sup>2</sup>, 金之庆<sup>1</sup>, 石春林<sup>1</sup>, 葛道阔<sup>1</sup>, 魏秀芳<sup>1</sup>

(1. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所/数字农业工程技术研究中心, 南京 210014;

2. 南京理工大学计算机学院, 南京 210014)

**摘要:** 为了集成作物生长模型、决策支持系统与 Web 技术, 以实现作物栽培数字决策技术的网络化。以武运粳 7 号、扬稻 6 号、粤优 948 及南粳 41 为供试材料, 2005 年在江苏省农科院试验区进行了不同基肥田间试验, 采集和更新了品种参数; 采用 SQLServer2000 建立水稻品种、土壤及气象资料数据库; 采用 VS.Net 进行了水稻生长模拟、决策支持系统与 Web 的集成和页面设计, 包括登录、系统主界面、品种参数管理、地点气象数据管理、参数调整以及水稻栽培决策等功能。基于 Web 与模拟模型的水稻栽培数字化设计符合 TCP/IP 协议, 可在服务器上 (IIS5.0) 安装、运行和在任何 Internet 浏览器上调用, 它继承了水稻栽培模拟优化决策系统的机理性、普适性和实用性, 将水稻生长模型与 Web 技术相结合, 形成了水稻模拟优化决策的网络平台, 使水稻主产区农业技术人员通过 Internet 因地、因种、因时制定具有动态、目标和数字化特征、可下载的播前优化方案, 提供当年调控建议, 对作物生长模型的网络化具有重要意义。

**关键词:** Web, 模拟模型, 水稻栽培, 数字化设计, 决策支持系统

**中图分类号:** S152.2, S157.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2008)-12-0137-04

曹宏鑫, 杨余旺, 金之庆, 等. 基于 Web 与模拟模型的水稻栽培数字化设计[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 137-140.

Cao Hongxin, Yang Yuwang, Jin Zhiqing, et al. Digital design of rice cultivation based on Web and simulation model[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(12): 137-140. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

中国是世界最大水稻生产国和消费国。水稻在中国商品粮中占 50% 以上, 种植面积约 2800~3100 万  $\text{hm}^2$ , 总产量约 12000~18000 万 t, 分别占中国粮食总播种面积与总产量的 30% 和 43.6%, 在中国商品粮构成与粮食安全保障中占有最重要地位。良种良法配套是中国水稻生产稳步发展的重要科学保障。江苏省农科院高亮之、金之庆等研制的水稻栽培模拟优化决策系统(RCSODS)<sup>[1]</sup>, 为水稻生产的良种与良法配套提供了有效方法。由于 RCSODS 还未与 Web 集成, 使其推广受到一定限制。

关于 Web 与数据库、农业专家系统、决策支持系统及农业模型等的集成研究国内外已有报道。Comis<sup>[2]</sup>、Shaffer<sup>[3]</sup>、McCown<sup>[4]</sup>、Winston<sup>[5]</sup>、Gunn 等<sup>[6]</sup>、Bostick 等<sup>[7]</sup>及 Miller<sup>[8]</sup>等分别开展了施肥模型、地下水模型、土壤与水质模型、决策支持系统或数据库与 Web 的集成研究。施建平<sup>[9]</sup>、余国宏<sup>[10]</sup>、高大明<sup>[11]</sup>、刘海涛<sup>[12]</sup>、杨宝祝、赵春江<sup>[13]</sup>、廖桂平等<sup>[14]</sup>、李翔<sup>[15]</sup>、王立舒<sup>[16]</sup>、储菊香<sup>[17]</sup>、陈署晃<sup>[18]</sup>及王石立<sup>[19]</sup>也分别进行了数据库、农业专家系统、土壤侵蚀模型、决策支持系统或 GIS 与 Web 的集成研究。但是, 关于作物生长模型和农业决策支持系统与 Web 技术的集成研究, 国内外尚未见文献报道。

本研究拟以江苏省农科院研制的 RCSODS 为基础, 将品种、土壤及气象数据库、水稻生长模型、优化模型(知识模型)与 Web 平台相集成, 建立基于 Web 与模拟模型的水稻栽培数字化设计系统(DDRCBWSM), 实现水稻生长模型和优化模型(知识模型)的网络化。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

为了更新品种参数数据库, 采用武运粳 7 号、扬稻 6 号、粤优 948 及南粳 41 为供试材料。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 田间试验

于 2005 年在江苏省农科院试验区进行, 采用裂区设计, 主区为基肥, 设 2 个水平(施肥(基肥 N75 ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) 75 ( $\text{K}_2\text{O}$ ) 120, 穗粒肥 N60, 穗粒肥 N45  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ) 和不施肥(CK)), 副区为品种, 设 4 个水平。共 8 个处理, 3 次重复, 24 个小区, 随机排列, 小区面积 ( $10 \times 3.029$ )  $\text{m}^2$ , 每小区栽 13 行。

试验地前茬为休闲地, 土壤肥力中上等, 0~40 cm 土壤含有机质 19.8 g/kg, 碱解氮 138.6 mg/kg, 速效磷 19.9 mg/kg, 速效钾 141.9 mg/kg, pH6.51。5 月 18 日深翻晒垡, 5 月 15 日育秧, 6 月 15 日施肥区施三元复合肥 34kg (纯 N 75  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ), 6 月 16 日移栽, 6 月 21 日施肥区施尿素 6.5 kg (纯 N 60  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ), 8 月 17 日施肥区施尿素 4.65 kg (纯 N 45  $\text{kg}/\text{hm}^2$ )。其余田间管理同高产大田。

#### 1.2.2 测定项目

记载生育期、标记叶龄; 调查基本苗、产量及产量结构; 自分蘖期开始, 每小区定两点(两行 30 cm), 隔 5 天调查一次茎蘖动态; 于主要生育期(移栽、返青、分

收稿日期: 2006-08-22 修订日期: 2008-06-18

基金项目: 农业部 948 项目(2004-Z); 江苏省农业科技创新基金课题

(110715); “十一五”国家 863 计划课题(2006AA10Z230; 2006AA10Z219)

作者简介: 曹宏鑫(1963—), 男, 陕西岐山人, 研究员, 博士, 主要从事作物品质生理生态、“数字农业”技术研究。南京 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 210014。Email: caohongxin@hotmail.com

蘖、拔节、孕穗、抽穗、开花、灌浆、成熟)用常规方法取样与测定叶面积指数、干物重、群体光谱特征、植株含 N 量和含 P 量。其中,群体光谱特征用 EXOTECH100BX 光谱辐射计测定;成熟期每小区取 10 株室内考种(常规项目)。

## 2 结果与分析

### 2.1 数据库设计

采用 SQLServer2000 建立水稻品种、土壤及气象资料数据库。水稻品种数据库包括模型参数数据库(水稻生育期、叶龄、光合作用、穗粒结构、节间数与分蘖率、单株叶面积、适宜季节及齐穗期温度指标)、品种特性与病虫害防治知识库;土壤参数包括土壤类型、质地、有机质、全氮、速效磷、速效钾、pH 值、容重、饱和含水率、田间持水量及凋萎点等,气象资料包括常年与当年月或日平均气温、最高气温、最低气温、日照时数、雨量及雨日等。

### 2.2 功能设计

系统功能主要包括品种数据库管理、地点数据库管理、品种参数调整及水稻栽培决策(图 1)。数据库、知识库和模型类库以及功能模块调用符合 TCP/IP 协议,可在服务器上(IIS5.0)安装和运行,通过 Internet 能在任何浏览器上调用。

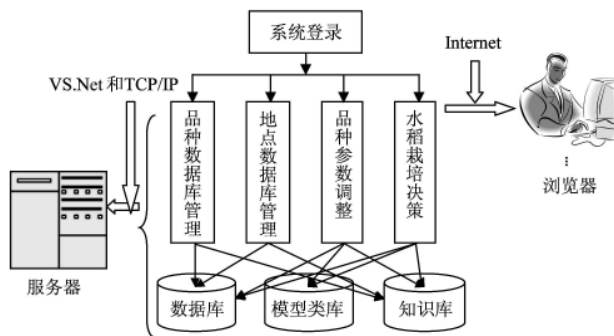


图 1 基于 Web 与模拟模型的水稻栽培数字化设计功能框图  
Fig.1 Functional frame for digital design of rice cultivation based on Web and simulation models

#### 2.2.1 数据库管理

主要通过 VS.Net 的 ASP.Net Web 应用程序调用 SQL Server 品种数据库和知识库、地点数据库和天气发生器类库以完成数据的网络添加、删除和修改。

#### 2.2.2 品种参数调整

主要通过 VS.Net 的 ASP.Net Web 应用程序调用 SQLServer 数据库、知识库与模型类库(水稻生长模型与优化模型)以完成品种参数网络调整。

#### 2.2.3 水稻栽培决策

主要通过 VS.Net 的 ASP.Net Web 应用程序调用 SQLServer 数据库、知识库与模型类库(水稻生长模型与优化模型)以完成网络化水稻栽培常年决策、当年决策、水稻适宜叶面积与茎蘖数动态曲线显示及生成模式图。

### 2.3 页面设计

采用 VS.Net 进行 Web 系统页面设计,包括登录(图

2)、系统主界面(图 3)、品种数据管理(4)、地点气象数据管理(图 5)、参数调整(水稻生育期、叶龄、光合作用、穗粒结构、节间数与分蘖率、单株叶面积、适宜季节及齐穗期温度)(图 6)以及水稻栽培决策(图 7)。



图 2 登录页面  
Fig.2 Login web page



图 3 系统主界面  
Fig.3 Main interface of the system

图 4 品种数据管理  
Fig.4 Data management of rice cultivars

年份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
平均气温	11.5	11.8	14.1	18.8	23.2	26.7	29.6	29.1	26.4	22.7	18.7	13.7
最高气温	15.8	15.9	18.6	23.5	27.5	30.8	34.3	33.8	30.6	27.0	23.0	18.3
最低气温	8.7	9.1	11.3	15.5	20.0	23.6	26.0	26.7	23.4	19.5	16.5	10.5
日照时数	96.0	73.1	81.6	109.7	123.4	139.9	222.9	191.6	141.7	141.6	116.6	117.3
月雨量	57.1	83.8	144.2	143.4	177.5	185.1	98.4	177.0	180.1	32.2	36.5	30.4
月雨日	10.4	14.3	16.9	16.8	18.3	16.5	10.4	12.4	12.0	6.8	7.3	7.9

图 5 地点气象数据管理  
Fig.5 Management of site weather data

参数调整

调整的品种 汕优63 地点 南京 调整步骤 生育期参数

生育期参数

播种期		出苗期		抽穗期		成熟期	
月	日	月	日	月	日	月	日
模拟值	5 15	5 18	8 20	9 30			
实际值	5 15	5 18	8 20	9 30			

播种~出苗 出苗~抽穗 抽穗~成熟 播种~成熟

误差(天)	0	0	0	0
-------	---	---	---	---

生育期模型参数

1. 播种 ~ 出苗 K<sub>S</sub>= -0.8 PS= 0.4

2. 出苗 ~ 抽穗 K<sub>1</sub>= -4.38 P<sub>1</sub>= 1.165 Q<sub>1</sub>= 0.777 G<sub>1</sub>= 0

3. 抽穗 ~ 成熟 K<sub>3</sub>= -3.59 P<sub>3</sub>= 0.226

调整规则: 误差大于/小于0, 则分别减小/增大K<sub>S</sub>, K<sub>1</sub>, K<sub>3</sub>, G<sub>1</sub>的绝对值

调整后刷新 保存修改后的数据 下一步

图 6 水稻参数调整

Fig.6 Adjustment of rice parameters

水稻栽培常年优化决策系统

优化的品种 汕优63 地点 南京 优化步骤 施肥决策

水稻最佳施肥决策

	N	P205	K20
最高施肥量	9.5	2.9	3.6
经济施肥量	8.9	2.8	3.4
目标产量施肥量	7.3	1.1	0.4

上述施肥决策中化肥利用率

氮肥: 0.38 磷肥: 0.25 钾肥: 0.5

本系统目前的氮磷钾比例

基肥	分蘖肥	保穗肥	促花保花肥	穗/粒肥
5	1	1.5	2	0.5

调整后刷新 保存修改后的数据 下一步

图 7 水稻栽培决策

Fig.7 Decision making of rice cultivation

2.4 运行环境

服务器端需 WIN2000Server 以上操作系统、.Net framework、SQLServer2000 以上数据库、IIS5.0、EXCEL5.0 以上以及 IE6.0 等软件支持；在客户端需 WIN98 以上操作系统、EXCEL5.0 以上与 IE6.0 软件支持。

2.5 结果举例

通过浏览器调用南京常年气象、汕优 63、种植田土壤养分等资料，经参数调整和播前优化决策，可在线制定并下载播前优化方案（图 8）。该方案包括生育期、适宜群体动态以及适宜施肥量、氮肥调控和病虫害防治等，具有较强的技术性和可操作性。

南京		地区	汕优63		良种良法计算机模式图											
说明：本方案贯彻“高产、稳产、高效、灵活”的优化栽培原则。主要的优化措施为：在选用良种前提下，(1)选择适宜季节;(2)合理稀播,培育带蘖壮秧;(3)根据叶龄模式,确定合理基本苗;(4)早促有效分蘖,早控无效分蘖,控制最高苗,提高成穗率;(5)适时封行(拔节后10~15 d),建立高产防倒群体;(6)施好保花促花肥,培育大穗;(7)延长后期叶片功效,提高结实率与粒重;(8)根据土质与产量,适量施用N、P、K肥,合理施肥与水分调控。以上优化措施配套贯彻后,比传统措施增产10%以上!																
品种：		汕优63		稻作类型：		单季稻		播种期(月/日)：		5月 15日		目标产量(kg/hm <sup>2</sup> )：		9000		
品种类型：		杂交籼稻		育秧与移栽方式：		旱育秧, 插秧		移栽期(月/日)：		6月 16日		全生育期天数(d)：		138		
品种特性及栽培要点：		苗壮,紫鞘,叶色深,分蘖力中等,株型较紧凑,茎秆粗壮,期全生育期140 d,穗大,结实率高,抗病性较好,适应性广 高产栽培要在争得足够穗数的基础上,主攻大穗,掌握适期播种,宽行少本,基,肥配:穗肥=6:4*														
实际栽培季节	秧龄与播栽密度	秧龄(d):	33	本秧田比:	15	适宜秧田播量/kg·hm <sup>-2</sup> :	457.5	基本苗/10 <sup>4</sup> ·hm <sup>-2</sup> :	60	本田用种量/kg·hm <sup>-2</sup> :	30					
	栽培时期	播种育秧期				移栽--拔节期				拔节--抽穗期				抽穗--成熟期		
	生育期 日期(月/日)	播种	出苗	三叶	拔秧	移栽	返青	有效分蘖终止期	拔节	颖花终止	剑叶出	抽穗	始黄	成熟		
		5月 15日	5月 18日	5月 27日	6月 16日	6月 16日	6月 20日	7月 12日	7月 24日	8月 5日	8月 10日	8月 20日	9月 21日	9月 30日		
叶龄(片)		1		3	4	4		4	12	14		16	17			
主攻目标		培育适龄壮秧				早发稳发,促有效分蘖,控无效分蘖				增加物质积累,培育壮秆大穗				老健活熟,提高结实率与千粒重		
适宜群体动态	茎蘖数/10 <sup>4</sup> ·hm <sup>-2</sup>	2221.5				60	60	241.5	423	241.5				16.1		
	叶面积指数					0.1	0.1	1.9	4.8	7.6				4.1		
	干物质量/kg·hm <sup>-2</sup>	1.5 384 4999.5				351	351	1062	2794.5	9454.5				19522.5		
水分管理		湿润 薄水 浅水				寸水浅水搁田				回浅水干干湿保持湿润回浅水				干干湿湿 落干		
适宜施肥量	当地土壤一般性状		施肥时期			本田基肥 分蘖肥 保穗肥			促花肥、保花肥			穗/粒肥				
	有机质含量/% 全氮含量/% 速效磷含量/mg·kg <sup>-1</sup> 速效钾含量/mg·kg <sup>-1</sup> pH值	1.9 0.1 19 138 6.5	施 肥 总 量	纯N:	196.5	99	19.5	30	39	10.5						
				P:	150	150										
				K:	75	52.5	22.5									
				施肥量单位:kg/hm <sup>2</sup>												
氮肥调控	(1)苗情	过旺苗 三类苗	实际茎蘖数 占适宜茎蘖数	>110% 60%~80%	适当少施(-50%~100%) 适当多施(+20%~40%)	适当少施(-10%~50%) 适当多施(+20%~30%)										
	(2)气象条件(与常年比较)	气温偏高,日照偏多 气温偏低,日照偏少			适当少施(-10%~20%) 适当多施(+10%~20%)	适当多施(+10%~20%) 适当少施(-10%~20%)										
病虫害防治重点		稻飞虱				纹枯病				条纹叶枯病				稻瘟病		
病虫害防治方法	1.种子处理:防治恶苗病(用25%施宝克乳油,2000-3000倍,或80%浸种灵水剂4000倍液,浸种60-70 h; 2.防治纹枯病:用5%井冈霉素水剂2.25-3.00 L/hm <sup>2</sup> 喷雾;稻瘟病:20%三环唑可湿性粉剂1.125-1.5 kg/hm <sup>2</sup> ;白叶枯病:25%叶青双可湿性粉剂2.25-3.00 kg/hm <sup>2</sup> ; 3.防治稻飞虱:用10%蚜虱净0.15-0.30 kg/hm <sup>2</sup> ,或25%扑虱灵0.75 kg,兑水喷雾;螟虫:18%杀虫双水剂3.00-3.75 mL(兼治纵卷叶螟),或 20%三唑磷乳油1.50-2.25 mL兑水喷雾; 4.早秧田除草:用42%早秧草宁乳油1.65 L/hm <sup>2</sup> 兑水0.45-0.60 kg/hm <sup>2</sup> ,播后施用。															
	(1)在不同地区可按不同的品种、土壤类型、播种期及产量水平,用计算机制作本模式图。(2)基本苗:田瘦、迟播,可多些;否则,少些。 (3)氮肥调控:如为正常(实际茎蘖数为适宜茎蘖数的95%~110%),按适宜肥量施肥;否则,根据表列范围调整。															
	备注															
	*研制单位:		江苏省农科院 2006年 5月													

图 8 汕优 63 在南京种植的播前优化方案

Fig.8 Pre-sowing optimized scheme of rice Shanyou 63 growing in Nanjing areas

3 结论及讨论

1) DDRCBWSM 首次实现了水稻生长模型、优化与知识模型及数据库与 Web 的集成，形成了水稻模拟优化

决策网络平台，为水稻生长模型的 INTERNET 应用奠定了基础。

2) DDRCBWSM 继承了 RCSODS 的机理性、普适性和实用性，将水稻生长模型研究与 Web 技术相结合，

可通过 INTERNET 因地、因种、因时制定具有动态、目标和数字化特征的播前优化方案、提供当年调控建议,并以明白纸、网络、EMAIL、电视、壁报等方式进行技术指导。

3) DDRCBWSM 为与专家知识、图片、视频等结合提供了网络平台,使水稻标准化生产、田间作业档案与溯源管理更便捷。

4) 目前,DDRCBWSM 尚未与 GIS 集成,而区域分布与宏观指导功能的实现需要 GIS 的支持,这方面研究需加强。

#### [参 考 文 献]

- [1] 高亮之,金之庆,黄耀,等.水稻栽培模拟优化决策系统[M].北京:中国农业科技出版社,1992: 21—40.
- [2] Comis D. Model takes the guesswork out of fertilizing[J]. *Agricultural Research*, 1999, 47(10): 15.
- [3] Shaffer M J. Nitrogen modeling for soil management[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 57(6): 417—425.
- [4] McCown R L. Changing systems for supporting farmers' decisions: problems, paradigms, and prospects[J]. *Agricultural Systems*, 2002, 74(1): 179—220.
- [5] Winston R B. Ground water modeling software on the Internet[J]. *Ground Water*, 2002, 40(4): 335—336.
- [6] Gunn R L, Mohtar R H, Engel B A. World-wide-web--based soil and water quality modeling in undergraduate education[J]. *Journal of Natural Resources and Life Sciences Education*, 2002, 31: 141—147.
- [7] Bostick M, Koo J, Walen V K, et al. A web-based data exchange system for crop model applications[J]. *Agronomy Journal*, 2004, 96(3): 853—836.
- [8] Miller R C, Guertin D P, Heilman P. Information technology in watershed management decision making[J]. *Journal of the American Water Resources Association*, 2004, 40(2): 347—357.
- [9] 施建平,鲁如坤,王德建.基于Web的施肥决策支持数据库的设计和建立[J]. *土壤*, 1999, (6): 299—316.
- [10] 余国宏.基于Web数据库的农田信息服务系统[J]. *计算机与农业*, 2000, (9): 13—17.
- [11] 高大明,杨盘洪.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, 31(5): 477—480.
- [12] 刘海涛,秦其明.基于WEBGIS的土壤侵蚀模型的研究及应用[J]. *水土保持学报*, 2001, 15(3): 52—55.
- [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.
- [14] 廖桂平,李爱平,吴泉源,等.基于Web的油菜生产专家系统施肥知识表示[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2002, 28(5): 378—382.
- [15] 李翔,杨宝祝,郭天财,等.基于WebGIS和ES集成技术的农作物管理地理信息系统研究[J]. *华北农学报*, 2003, 18(2): 106—109.
- [16] 王立舒,威国强,范永存.基于网络的农业决策咨询系统的设计与开发[J]. *农机化研究*, 2003, (2): 136—137.
- [17] 储菊香.基于WEB的森林火灾预测预报系统的设计与开发[J]. *林业资源管理*, 2003, (5): 59—61.
- [18] 陈署晃,毛端明,许咏梅.基于WEBGIS的新疆自治区养分分区管理系统的建立[J]. *现代化农业*, 2003, (11): 27—29.
- [19] 王石立,庄立伟,刘庚山,等.网络化农业气象信息服务技术研究[J]. *中国农业气象*, 2004, 25(1): 1—4.

## Digital design of rice cultivation based on Web and simulation model

Cao Hongxin<sup>1</sup>, Yang Yuwang<sup>2</sup>, Jin Zhiqing<sup>1</sup>, Shi Chunlin<sup>1</sup>, Ge Daokuo<sup>1</sup>, Wei Xiufang<sup>1</sup>

(1. Institute of Agricultural Resources and Environment Research, Engineering Research Center for Digital Agriculture, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. School of Computer Sciences, Nanjing University of Sciences and Technology, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** In order to integrate Web with crop growth models and decision-making support system, the field experiments of different basal levels were carried out in the experiment areas of Jiangsu Academy of Agricultural Sciences in 2005 adopting four cultivars such as “Wuyungeng 7”, “Yangdao 6”, “Yueyou 948” and “Nangeng 41”, which were mainly used in collecting cultivar parameters and updating database of them. The database of rice cultivars, soil and weather data were developed using SQL Server 2000. The pages of digital design of rice cultivation based on Web and simulation model (DDRCBWSM) were designed using Visual Studio .Net, which included register, the main page, cultivar parameter management, site data management, parameter adjustment, decision making for rice cultivation, and so on. The DDRCBWSM accorded with TCP/IP agreements, which could be installed and run in server (IIS5.0), and be browsed on Internet. It inherited mechanism, universal adaptability and utility of rice cultivation simulation-optimization-decision making system(RCSODS), combined Web techniques with research of rice growth models, set up web system of rice simulation-optimization-decision making, made agricultural technicians of main rice production area of China to gain pre-sowing optimization cases and rice management suggestions of the current year with dynamic, goal and digital characteristics in accordance with soil, cultivar and weather conditions online, and to fulfill technical direction through many kinds of manner such as paper, internet, email, television, wall newspaper, and so on, eventually.

**Key words:** Web, simulation model, rice cultivation, digital design, decision-making support system