

# 基于生长模型的油菜管理决策支持系统

汤 亮, 曹卫星, 朱 艳\*

(南京农业大学农学院/江苏省信息农业高新技术研究重点实验室, 南京 210095)

**摘 要:** 基于生长模型的作物管理决策支持系统是数字化农作技术研究的重要内容。在气象因子、土壤条件、品种特征和栽培管理数据库的支持下, 利用作物生长模拟技术、计算机软件技术, 构建了基于生长模型的油菜管理决策支持系统 (GMDSSRSM), 包括单机版 (GMDSSRSM<sup>A</sup>) 和网络版 (GMDSSRSM<sup>W</sup>), 其中单机版系统利用 VB 和 VC++ 语言编程实现, 网络版系统在 .net 平台上用 C# 语言开发。该系统实现了数据管理、模拟预测、方案评估、因苗预测、时空分析、敏感性分析、专家咨询和系统帮助等功能, 具有机理性强、预测性好、通用性强、功能全面等特点。该研究为油菜生长与生产系统的动态预测和管理决策提供了定量化和数字化工具, 可为数字化油菜农作系统的构建奠定技术基础。

**关键词:** 生长模型; 决策支持系统; 软构件技术; 油菜

**中图分类号:** S565.4; TP392

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2006)11-0160-05

汤 亮, 曹卫星, 朱 艳. 基于生长模型的油菜管理决策支持系统[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 160-164.

Tang Liang, Cao Weixing, Zhu Yan. Development of growth model-based decision support system for rapeseed management[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(11): 160-164. (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

基于生长模型的作物管理决策支持系统是数字化农作技术研究的重要组成部分。作物生长模型可以跨越时间、季节、土壤类型和气候带, 将作物的整个生长过程利用模型加以描述, 可以对各种条件下的作物生长状况给予预测, 提供决策支持, 提高作物生产的最大效益。因此作物生长模型自从 20 世纪 70 年代得到开发应用以来, 越来越多的被作为作物系统分析的定量化工具, 用来辅助进行作物生产管理决策。

目前国内外已经研制了多个基于作物生长模型的决策支持系统, 如 GOSSYM/COMAX、DSSAT、APSIM、MODCROP、EPIC 以及以“水稻钟模型”为基础的水稻栽培模拟优化决策系统 RCSODS<sup>[1-6]</sup>。这些系统能够根据不同的栽培条件来模拟作物的生长发育及产量形成, 并根据模型模拟的结果选出合理的管理方案, 已经广泛地应用在作物管理、产量预测、品种评价、肥料运筹、灌溉管理等多个领域<sup>[7-9]</sup>, 显著促进了农作管理的信息化和数字化发展。然而, 国外的模型特别重视土壤变化过程, 但对作物层次重视不够, 特别是对于地上部油菜生长状况研究得不够全面, 准确预测油菜产量的模型还没形成<sup>[10]</sup>; 而基于综合性的油菜生长模型的管理决策支持系统在国内尚未见报道。

本研究的目的是采用面向对象的程序设计思想和

构件化技术, 着眼于油菜植株生长发育和产量形成的特点, 构建预测性好、适应性强的综合性油菜生长模型, 并将构建的油菜生长模型以 COM 组件形式进行封装, 通过建立土壤、气象、品种及管理数据库, 研制基于生长模型的油菜管理决策支持系统(包括单机版和网络版), 以实现单机和网络环境下油菜生长发育和产量形成的模拟预测以及不同栽培管理方案的优化评估等功能, 为发展数字化油菜农作系统奠定基础。

## 1 系统的组织结构与内容

基于生长模型的油菜管理决策支持系统由数据库、模型库、模型应用以及人机接口等部分组成(见图 1)。

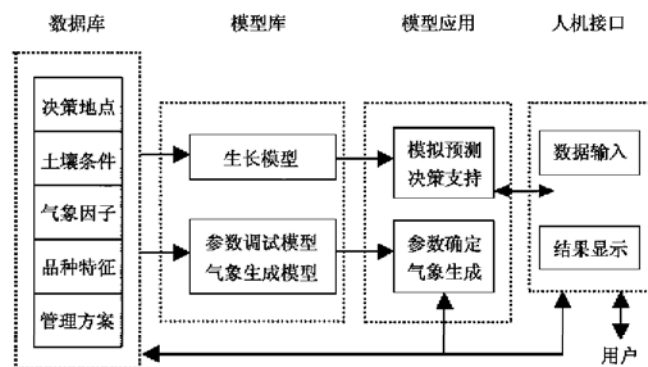


图 1 基于生长模型的油菜管理决策支持系统结构图

Fig. 1 System framework of GMDSSRSM

### 1.1 数据库

系统数据库由气象数据库、土壤数据库、品种数据库、管理方案数据库和地点数据库组成。

气象数据库包括地点信息、日期、日最高气温、日最低气温、日照时数以及降水量等。

土壤数据库包括两种土壤数据, 一类是反映耕作层土壤性质的数据, 包括土壤类型、耕层厚度、土壤反射

收稿日期: 2005-11-28 修订日期: 2006-09-05

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(30030090); 国家 863 计划资助项目(2003AA209030)

作者简介: 汤 亮(1979-), 男, 博士, 主要研究方向: 作物模拟与数字农作方面的研究。南京 南京农业大学农学院, 210095。

Email: tl@klia.cn

\*通讯作者: 朱 艳(1976-), 女, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向: 农业信息技术方面的研究。南京 南京农业大学农学院, 210095。Email: yanzhu@njau.edu.cn

率、pH 值、土壤速效磷、速效钾、全氮、氨态氮、硝态氮、有机质、缓效钾含量等; 另一类是为不同土层的土壤特性数据, 包括各土层厚度、容重、粘粒含量、土壤含水率、田间持水量和萎蔫含水量等。

品种数据库主要包括品种特定的基本遗传参数, 如温度敏感性、光周期效应、生理春化时间、基本灌浆因子、比叶面积、叶热间距、千粒重、收获指数、株高以及比角果面积等。栽培管理数据库主要储存油菜栽培管理措施数据, 通常包括播栽期、播种量、水分管理措施(包括水分灌溉时间和灌溉量)、氮、磷、钾的养分管理措施(包括施肥时间和施肥量)等。

地点数据库包括省份、市县以及经纬度等数据, 主要用于气象和土壤等基础农情资料的定位管理。

## 1.2 模型库

### 1.2.1 油菜生长模拟模型

借鉴国内外先进的作物建模理论以及小麦、水稻作物生长模拟模型中形成的方法体系和基本框架<sup>[11-13]</sup>, 并结合不同类型品种、播期与氮肥试验的模拟支持研究, 构建了基于生理生态过程的综合性油菜生长模拟模型(RapeGrow)。整个模型包括 6 个子模块(具体算法将另文报道): 阶段发育和物候期、形态发生与器官建成、光合作用与同化物的积累、物质分配与产量形成、土壤水分平衡以及养分平衡子模型。

1) 阶段发育与物候期子模型—以油菜发育的生理生态过程为基础, 通过引入热效应、光周期效应、生理春化时间以及基本灌浆因子 4 个品种参数来定量描述不同品种之间的差异, 它们之间的互作决定了每日生理效应的大小, 其积累形成每日生理发育时间(PDT), 并采用生理发育时间作为定量生育进程的尺度, 构建了预测油菜阶段发育与物候期子模型。其中到达抽薹、初花、终花、成熟的生理发育时间分别为: 16.9、22、31、51 个生理日。

#### 2) 形态发生与器官建成子模型

通过定量叶片、根、茎、花、角果和籽粒的长度或重量与生理发育时间或生长度日之间的关系, 引入氮素及水分影响因子来调节器官的生长和消亡, 并定义不同品种各器官最大潜在生长来反应品种之间的遗传差异, 建立了叶片、根、茎、花、角果和籽粒生长的子模型, 实现了对油菜单株形态建成较为全面的模拟。

#### 3) 光合作用与干物质积累子模型

通过分别计算花、角果、叶片三层的光合作用, 引入高斯积分法简单有效地计算每层的光合量而得出每日的冠层总同化量, 并建立了生理年龄、氮素、温度等因子对油菜光合作用的影响模型以及呼吸作用与光合产物消耗的子模型, 构建了光合作用与干物质积累的子模型。

#### 4) 物质分配与产量形成子模型

利用油菜器官生长与发育进程和环境因子之间的关系, 以生理发育时间为尺度来描述各器官分配指数的动态变化, 进而以分配指数来预测总干物质在油菜各器官间的动态分配, 通过计算分配到角果的干物质质量来预

测产量形成。

### 5) 水分平衡子模型

根据土壤水分平衡<sup>[14]</sup>的原理, 不仅考虑了因地下水位较浅而引起毛管上升水量和土壤导水率变化对土壤含水量变化的贡献, 同时通过干旱胁迫影响因子和渍水胁迫影响因子, 模拟了干旱和渍水对作物生长发育的影响, 建立了与作物生长模型相耦合的土壤水分动态子模型<sup>[15]</sup>。其中, 干旱胁迫影响因子取决于土壤临界水分含量; 渍水胁迫影响因子的算法不仅考虑了作物不同种类、土壤含水率高低不同引起的渍害差异, 还考虑了渍水时间和不同生育阶段渍水敏感性差异等因素。

### 6) 养分平衡子模型

包括氮、磷、钾养分动态平衡模拟模型<sup>[16]</sup>。在土壤氮素动态子模型中, 定量了温度和土壤水分状况对土壤有机物分解的综合影响, 并提出了秸秆分解“整吞”式的模型结构。在磷、钾养分的动态模拟过程中, 利用 Langmuir 方程描述土壤固定磷量与土壤溶液磷浓度、土壤固定钾量与土壤溶液钾浓度的关系。建立了植株临界磷钾浓度分配指数随作物生理发育时间变化的动态模型。同时, 通过对氮、磷、钾素作用的综合分析, 建立了土壤初始养分状况、施肥量与作物生物产量、经济产量、植株养分含量、作物收获后土壤养分变化关系的单养分限制与养分综合作用模型。

### 1.2.2 品种生育期参数调试模型

品种生育期参数调试模型的原理主要基于均方和法<sup>[17]</sup>(Mean Sum of Squares)。需要计算不同地点、不同年份、不同播期下油菜生长天数的模拟值( $D_{mod,i}$ )与实际值( $D_{exp,i}$ )之间差异的平方和, 方程如下

$$MSS = \sum_{i=1}^{N_{run}} [(D_{mod,i} - D_{exp,i})^2 \times (\frac{1}{N_{s,y,i}} \times \frac{1}{N_{y,loc,i}} \times \frac{1}{N_{loc,i}})]$$

式中  $N_{loc,i}$ ——播种地点的数目;  $N_{y,loc,i}$ ——每个地点播种的年份;  $N_{s,y,i}$ ——每年播期的数目;  $N_{run}$ ——总共需要校正的试验资料的数目。首先确定每个参数的初步范围及步长, 然后运用多次循环方式, 分别计算从播种到初花、初花到成熟两个  $MSS$  值, 再分别除以相应各播期中最大观测值, 即得到两个相对  $MSS$  值。两者相加, 当结果最小时, 将模拟获得的品种参数作为该品种生育期参数。

### 1.2.3 气象因子生成模型

采用已有的方法构建气象因子生成模型<sup>[18]</sup>, 降水因子模型由马尔可夫链(Markov chain)模拟逐日降水出现与否, 然后用 Gamma 分布函数来描述逐日降水量, 并作为单一的独立随机变量处理。日最高气温、日最低气温和日照时数的模拟是利用波谱分析方法生成参数, 并把气温和太阳辐射的日变化过程视为弱平衡随机过程模拟。

## 1.3 模型应用系统

运用已建立的油菜生长模型, 基于模型的生长预测与策略分析, 实现了实时预测、方案评估、时空分析及敏

感性分析等主要功能。同时,通过运行气象资料生成模型和品种参数调试模型,对系统的气象资料和品种资料进行补充和完善,使系统更具有适用性和通用性。

#### 1.4 人机接口

包括数据的输入和模型运行结果的显示。系统拥有友好的人机交流界面(浏览器),操作简单,运用下拉菜单、工具条、图标和表格的形式与用户交互,便于理解,用户只要通过鼠标和快捷键就能完成输入和操作过程。运用动态曲线图和表格输出等方式显示界面结果,直观简洁。

## 2 系统的基本功能

本系统实现了不同环境条件、不同基因型和不同生产水平下的数据管理、动态模拟、单项方案和综合方案评估、因苗预测、时空分析、敏感性分析、专家咨询以及系统帮助等复合决策支持功能(见图2)。

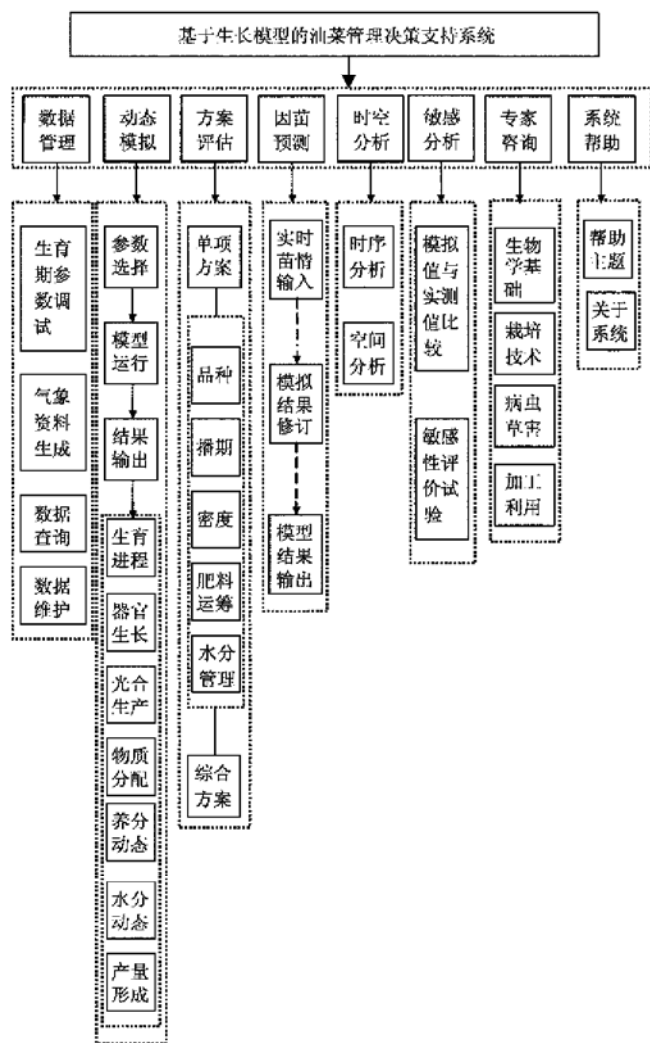


图2 基于生长模型的油菜管理决策支持系统功能图

Fig.2 Functional structure of GMDSSRSM

#### 2.1 数据管理

数据管理主要实现3个功能:

1) 品种生育期参数调试:通过输入品种试验的播

种、初花和成熟的日期,系统调用生育参数调试组件计算该品种的生育期参数。

2) 气象资料生成:根据历史气象资料随机生成新的气象资料。用户输入当地历史的月平均最高气温、最低气温、日照时数、降雨量后,系统调用基于COM标准的气象资料生成模型组件,计算生成逐日气象资料。

3) 查询和维护数据库:通过界面输入,可以查询、添加和修改品种参数、气象资料、土壤资料以及管理措施的数据,并及时更新数据库,有利于系统满足不同地点不同需求的用户。

#### 2.2 动态模拟

用户输入模型运行所需的基础数据,系统通过访问数据库,并调用基于COM标准的生长模型组件,为用户输出模型运行的结果。用户可以选择不同的功能菜单分别显示油菜生育进程、器官生长、光合生产、产量形成、水分和养分动态等过程的模拟结果,可选择图形或表格的方式进行输出显示。其中,图形显示模块可以选择不同的时间表示方式,以及动态和静态显示方式,生动地描述油菜生长发育过程;表格显示模块可以选择不同的时间间隔以及分类显示模型结果。

#### 2.3 方案评估

通过模拟不同方案条件下的油菜生长状况,根据模拟结果,给出最优的管理方案。单项方案是在不同品种、播期、密度、施肥或灌溉条件下,分别进行模拟试验,通过分析比较不同方案下模拟的产量结果,得出最佳的单个技术方案。综合方案是在同时改变品种、播期、密度、施肥或灌溉条件下,进行综合模拟试验,然后分析比较模拟结果,得出最佳的综合方案。方案评估功能可以使用户在播种前,通过模拟试验获得适宜的综合管理方案。

#### 2.4 因苗预测

用户通过输入实时苗情来修正模拟值,使模型按照实时苗情可靠地运行下去。用户可以输入干物重、叶面积指数等实时获取的苗情特征及日期,系统对实测值和对应模拟值进行比较,如果两者之差大于5%,则用实测值代替模拟值,然后模型将按照实测值继续运行。模型运行完成后,未修订的模拟结果和修订后的模型结果将用表格和曲线图输出,用户可以直观地了解修订前后油菜生长的动态变化。

#### 2.5 时空分析

通过改变年份和地点来模拟油菜生长,预测油菜在不同年份或地点的生长变化动态。通过调用多年或多个地点的气象资料以及与之对应的品种与土壤资料,循环调用油菜生长模型,用表格与曲线图的形式输出多年的产量模拟结果。通过分析不同年份间的油菜产量的变化规律,可以预测未来年份油菜产量的变化趋势;通过分析多个地点的油菜产量变化状况,为基于空间差异的精确农业管理决策提供技术支持。

#### 2.6 敏感性分析

主要包含两个功能:实测值与模拟值比较,模型的敏感性评价。在实测值与模拟值比较中,用户通过界面

输入模拟运行的环境条件并运行模型后, 将模拟值与实测值相比较, 计算实测值与模拟值之间的 RMSE 值, 最后系统以表格和曲线图的形式将实测值与模拟值同时输出, 并显示 RMSE 值, 从而有利于用户直观了解模型模拟结果的准确性。此外, 在敏感性评价中, 用户通过改变模型运行初始环境中的一个或几个变量, 包括品种参数、土壤特性、气象条件、管理措施等初始输入条件, 并分析不同条件下的模拟结果, 来测试模型对初始条件变化的敏感性和响应度。不同条件下模拟结果的变化情况由表格和曲线图输出。

## 2.7 专家咨询

专家咨询包括油菜的生物学基础、栽培技术、病虫害、生产加工方面的专家知识。系统运用了大量的图片和文字来介绍油菜栽培理论与技术, 同时还可查询油菜的基本术语。操作简单, 形象生动。

## 2.8 系统帮助

提供了系统的帮助文档, 包括系统开发情况、使用环境和系统使用指南等, 同时还提供了关于系统的一些基本信息, 例如版权说明、联系方式等。

# 3 系统设计与实现

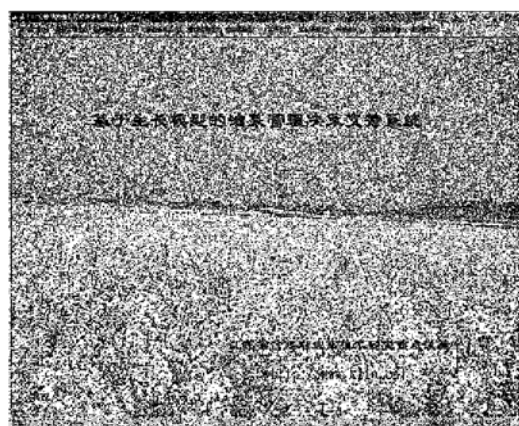
## 3.1 系统的开发环境

系统在 AMD Athlon XP 2500+ CPU, 内存 1G 计算机及 Windows Server 2003 操作系统上开发。

## 3.2 系统的整体设计

单机版系统(GMDSSRSM<sup>A</sup>)采用 Access 2000 作为数据库, 采用 Visual Basic 6.0 设计系统界面, 同时采用 mschart 图表控件来设计系统的表格和曲线图输出, 基于 COM 标准的油菜生长模型组件采用 Visual C++ 6.0 进行开发。GMDSSRSM<sup>A</sup> 的界面如图 3a 所示。

网络版(GMDSSRSM<sup>W</sup>)在传统的“用户层/应用层/数据层”三层结构的基础上<sup>[19]</sup>, 按照系统应用逻辑与功能将应用层分为应用程序服务器与 Web 服务器, 因而系统采用基于“Web 浏览器/Web 服务器/应用程序服务器/数据库服务器”4 层结构设计。采用 SQL server 设计数据库, 在 .net 平台下用 C# 语言设计网页, VC.net 构建基于 COM 标准的油菜生长模型组件。GMDSSRSM<sup>W</sup> 的界面如图 3b 所示。



a. GMDSSRSM<sup>A</sup>



b. GMDSSRSM<sup>W</sup>

图 3 GMDSSRSM<sup>A</sup> 和 GMDSSRSM<sup>W</sup> 系统界面图

Fig. 3 Interface of GMDSSRSM<sup>A</sup> and GMDSSRSM<sup>W</sup>

## 3.3 生长模型组件的设计

油菜生长模型组件是整个管理决策支持系统的核心, 组件基于 COM 标准。组件内部包括生育期、光合作用和干物质积累、器官建成与物质分配、水分平衡和养分平衡 5 个主要的模块类以及一个与外部数据传输的接口类。接口类中的接口函数通过气象资料、品种资料、土壤资料、界面初始输入以及氮磷钾肥和灌溉管理措施的输入, 调用其他 5 个类, 计算油菜的逐日生长状态作为输出项。接口上由于不支持数组的传递, 输入输出由变量的方式来完成。

## 3.4 其它组件的设计

系统还包括气象生成组件和品种参数调试组件。气象生成组件采用 Visual Basic 6.0 编写, 基于 COM 标准, 组件内部主要包括两个接口函数, 分别完成“最高和最低气温的生成”和“日照时数和降雨量的生成”两个功

能。品种参数调试组件采用 VC.net 编写, 基于 COM 标准, 包括一个接口函数, 接口上输入项为气象资料、界面资料; 输出项为调试好的品种参数和品种参数变化范围。

# 4 结 论

1) 本研究通过构建综合性的油菜生长模型, 详细描述了油菜生长发育的动态过程, 比已有的油菜生长模型机理性更强, 通用性更好, 从而更有利于对油菜生产的管理决策。

2) 实现了动态模拟、单项和综合方案评估、因苗预测、时空分析、敏感性分析、专家咨询等功能。系统功能全面, 决策性强。

3) 系统引入气象生成模型和参数调试模型, 避免了系统使用过程中由于数据缺乏带来的不便, 系统的应

用性更强。然而由于油菜生长模型所需的个别参数存在难以获取的情况,这一点还有待今后的进一步的修改和完善。

4) 利用基于 COM 标准的软构件技术构建了油菜生长模型组件,面向对象的语言设计系统界面,构建的包括基于软件安装的单机版(GMDSSRSM<sup>A</sup>)和基于远程访问的网络版(GMDSSRSM<sup>W</sup>)的系统。系统独立性好,运行效率高,操作简单方便。

5) 本系统的研制开发为进一步构建和发展基于模型和 3S 技术的数字化油菜农作系统提供了关键技术和基础框架。

#### [参 考 文 献]

- [1] Mckinion J M. Application of the GOSSYM/COMAX system to cotton crop management [J]. *Agricultural Systems*, 1989, 31: 55– 65.
- [2] Jones J W, Hoogenboom G, Porte C H, et al. The DSSAT cropping system model[J]. *European Journal of Agronomy*, 2003, 18: 235– 265.
- [3] Keating B A, Carberry P S, Hammer G L, et al. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation[J]. *European Journal of Agronomy*, 2003, 18: 267– 288.
- [4] Waldman S E, Rickman R W. MODCROP: A crop simulation framework[J]. *Agronomy Journal*, 1996, 88( 3– 4): 170– 175.
- [5] Kiniry J R, Majo D J, Llaurralde R C, et al. Epic model parameters for cereal, oilseed and forage crops in the northern great plains region[J]. *Canadian Journal of Plant Science*, 1995, 75: 679– 688.
- [6] 高亮之, 金之庆, 等. 水稻栽培计算机模拟优化决策系统[M]. 北京: 中国农业出版社, 1992.
- [7] William E E, Cynthia J, Mary M E, et al. Modeling the effect of shelterbelts on maize productivity under climate change: An application of the EPIC model[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1997, 61: 163– 176.
- [8] Grenz J H, Manschadi A M, DeVoi P, et al. Simulating crop-parasitic weed interactions using APSIM: Model evaluation and application [J]. *European Journal of Agronomy*, 2006, 24( 3): 257– 267.
- [9] Gijssman A J, Hoogenboom G, Parton W J, et al. Modifying DSSAT for low-input agricultural systems, using a soil organic matter residue module from CENTURY[J]. *Agronomy Journal*, 2002, 94( 3): 462– 474.
- [10] Diepenbrock D. Yield analysis of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): a review [J]. *Field Crop Research*, 2000, 67: 35– 49.
- [11] 严美春. 基于过程的小麦生育期和器官形成的机理模型[D]. 南京: 南京农业大学, 1999.
- [12] 刘铁梅. 小麦光合生产与物质分配的模拟模型[D]. 南京: 南京农业大学, 2000.
- [13] 孟亚利. 基于过程的水稻生长模拟模型研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2002.
- [14] Ritchie J T, Otter S. Description and performance of CERES-wheat: a user-oriented wheat yield model [J]. *USDA-ARS*, 1985, 38: 159– 170.
- [15] 胡继超. 作物水分关系模拟及水分管理系统的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2002.
- [16] 庄恒扬. 作物-土壤系统氮磷钾养分的动态模拟与管理决策[D]. 南京: 南京农业大学, 2001.
- [17] Habekotte B. A model of the phenological development of winter oilseed rape (*Brassica napus*. L) [J]. *Field Crops Research*, 1997, 54: 127– 136.
- [18] 曹卫星, 罗卫红. 作物系统模拟及智能管理[M]. 北京: 华文出版社, 2000: 145– 146.
- [19] 孙秋冬. 软件系统分层设计[J]. *计算机工程与应用*, 2001, 7: 110– 112.

## Development of growth model-based decision support system for rapeseed management

Tang Liang, Cao Weixing, Zhu Yan<sup>\*</sup>

(Hi-Tech Key Laboratory of Information Agriculture of Jiangsu Province,  
College of Agronomy, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** Growth model-based decision support system is one of the important parts of digital farming techniques. Driven by soil, variety, weather and management databases, a growth model-based decision support system for rapeseed management(GMDSSRSM) was developed by integrating growth simulation technology and component-based software technology, including a stand-alone edition (GMDSSRSM<sup>A</sup>) and a web-based edition(GMDSSRSM<sup>W</sup>). The GMDSSRSM<sup>A</sup> was established on the platforms of VC++ and VB by adopting the characteristics of object-oriented and component-based software and with effective integration and coupling of the growth prediction and decision-making functions for cultural management. Then, GMDSSRSM<sup>W</sup> was further developed on the platform of .net with C# language for web users. The implemented systems with the characteristics of powerful mechanism, good prediction, fine adaptability and comprehensive function realized the functions of data management, prediction of growth dynamics, evaluation of individual and comprehensive management strategies, real time growth data based simulation, time and spatial analysis, sensitivity analysis, expert consultation, and system help. The GMDSSRSM is regarded as quantitative and digital tools for prediction of rapeseed growth and development and decision support. It may be useful for construction of digital farming system in modern rapeseed production.

**Key words:** growth model; decision support system; component-based software technology; rapeseed