

“2003 年数字农业与农村信息化发展战略研讨会”书面发言
(2003 年 3 月 24 日, 北京)

植物生长建模 —— 数字农业的核心与关键技术

胡 包 钢
hubg@nlpr.ia.ac.cn

(中国科学院自动化研究所, 中法联合实验室-LIAMA 北京 100080)

中国人关于“民以食为天”的说法再恰当不过地表明了人类对于生存提出的最基本要求。由此, 我冒昧地延伸一步: “食以植为根”。用通俗的语言可以解释为“植物是食物链中最为根本的单元”。植物不仅为人类所直接食用, 它也是动物赖以生存的必要条件。人类正是通过食用动物这样间接的方式来消耗植物。植物的作用远远大于仅为人类的食品。绿色植物除了保持水土、维护生态平衡的重要作用外, 还能够为人类提供新鲜空气, 纯净水质, 宜人气候, 优雅环境。人们的许多穿着、起居、药品是离不开植物的。可以毫不夸张地说“植物是大自然恩赐于人类最珍贵的礼物” [1]。

在本次由中国科学技术部主持的“2003 年数字农业与农村信息化发展战略研讨会”中, 我愿意就“植物生长建模”研究谈一些个人的看法。希望通过“植物”与“建模”这样两个关键词分别扣住“农业”与“数字”组合出来的重要主题。在此将感谢各领域专家对本文的兴趣并提出指正意见。

1. 什么是植物生长建模?

所谓“植物生长建模”就是以植物体为研究对象, 通过构造一个简单但是能够反映物理世界中真实植物的数学抽象描述模型, 模拟被研究对象的发生、发展过程, 为解释现象, 揭示机理, 发现规律, 预测结果提供有用工具[1]。我们将建立这样一个计算机模型的过程或方法简称为“建模”。在此应该对“植物生长建模 (Plant growth modeling)”一词有广义的理解, 它可以被扩展为包括模拟(Simulation)与可视化(Visualization)部分。

可视化仿真为植物生长研究提供了一种直观、迅捷的科学研究方法。它可以帮助研究者通过图形方式更有效地观察与分析植物生长中的结构与功能、生长发育、进化、分布等各种规律和影响因素, 以便系统的研究, 并加快模型反馈和验证工作。更为重要的是, 可视化三维建模为研究与探索“植物—植物”, “植物—环境”或“人工操作—植物”交互关系提供了独到的方法与途径。这主要是由于植物的形态结构在植物生长过程中起着十分重要的作用。借助可视化模型研究植物生长的典型实例包括: 植物冠层光强分布、光合作用产量、趋光效果; 水分蒸腾; 种植间距; 作物与杂草竞争;

植物体的变形、弯曲、及倒伏；植物相互间、或与外界障碍物之间产生的根系或冠体碰撞等问题。同时，植物生产过程中的人工干预也将涉及到三维可视化仿真研究，如人工修剪、整形等栽培操作下的植物生长过程模拟；施喷化肥、农药、水等人工管理下的效果模拟[1]。国内外学者有时将这样一个研究工作称为“虚拟植物(Virtual plant)”[2,3]。

文[1-3]对国际、国内有关植物生长建模的发展状况及未来展望作出了一定的介绍，并给出了相关国内外参考文献。

2. 植物生长建模的科学内涵

植物作为“数字农业”发展中的应用对象之一，其建模基础涉及了众多学科领域，其中包括生物学、植物学、农学、生态学、信息科学、应用数学等。植物生长建模大致可以被认为属于应用基础研究的范畴，它主要是宏观层次上的研究。不过在农业应用中通常是小到植物器官，大到作物群体，有时会涉及到从微观层次的建模，如基因、分子、细胞等。植物生长建模研究可以纳入所谓“生物信息学(Bio-informatics)”这样一个新兴的交叉科学领域之中。

下面试举一些在植物生长建模中的科学或应用方面的具体问题：

- A. 形态发生模型：这里包括植物的基因与拓扑结构模型及几何形态模型。
- B. 生理生态模型：这里包括大量局部内容的子模型，如光和作用、水肥效果、呼吸功能、温度影响、生物量生成与分配、矿质营养、大气等。
- C. 描述植物生命过程的数学模型方法研究。其该过程表现的问题形式为：
 - a. 众多的控制变量及影响因素；
 - b. 各变量与生长结果之间可能具有较强的动态耦合变化过程；
 - c. 生长过程呈现随机性、非线性、多变性及突变性。
- D. 农作物优化模拟研究。这包括品种选择、播期确定、水肥管理、病虫害防治、农艺措施、产量质量预测等各种内容。
- E. 植物模型有效性及其评价方法的研究。不同于传统的工业过程对象，植物体对建模体系方法的简易性、可理解性、普适性、定量化能力等方面提出了更高的要求。
- F. 植物生长可视化研究。植物体可视化是计算机图形学领域中的经典问题。真实、实时、动态地显示植物群体生长过程是极具挑战性的课题。

植物生长建模研究将会有力地推动各个相关学科的发展与有机融合。以植物学与农学为例，传统的研究方法和手段主要是单学科、经验式、定性化的模式。信息科学、计算机科学知识的引入，对于改变传统学科领域带来新的契机。如控制论中的许多基础理论知识可以被借鉴。如动态系统辨识、“植物—土壤—大气”的模型耦合分析、稳定性分析、随机过程控制等。同时新的人工智能技术也为植物建模研究带来新的思路

和方法，如可以将 Multi-agent 技术用于植物与环境的交互作用模拟中。

3. “数字农业与农村信息化”在中国的战略发展目标

“数字农业 (Digital Agriculture)”这一概念基本上是起源于“数字地球 (Digital Earth)”中的一个应用分支。目前这一概念得到了更多的引伸，但是国际国内对此还没有达到统一的定义。文献[4-6]对“数字农业”的内涵及其在未来农业发展中的作用有着很好的讨论。

所谓“农村信息化”的发展目标，可以理解为是针对“数字鸿沟”或“数字隔离”这样全球范围内都面临的问题而提出的。该目标的设定，对于中国这样发展极为不平衡的国家的长久建设有着极为重要的意义[7]。针对本次会议讨论内容，有必要提出以下有关“数字农业与农村信息化”在中国发展的战略目标：

I. 通过推广数字农业与农村信息化在中国的发展，培养掌握数字技术的现代化农民，同时，减少中国落后农村地区被进一步边缘化的趋势，为实现中国全面实现小康社会在必要的物资基础设施与技术人才队伍方面提供保障。

II. 通过数字农业技术的实施，更新中国的传统农业耕作模式，从而大大地提高农产品的产量与质量，使中国的农产品在国际市场上更具竞争力。

III. 通过数字农业技术的实施，发展“效益导向型”，“资源节约型”，和“环境友好型”[8]的农业技术和生产方式，如节水、节能、保护农村生态环境等可持续发展的中国农业。

4. 植物生长建模在“数字农业”发展中的地位

1998年5月在香山举办的“植物生理生态过程模拟与信息农业”专题会议[9]上，国内学者对于植物生长建模在信息农业中的地位提出了许多有见解的发言。我将植物生长建模在“数字农业”发展中的基本定位先用一句话表示。

“植物生长建模是‘数字农业’发展中的核心与关键技术”。

下面是对于上述观点的进一步阐述。可以理解，“数字农业”涉及的具体应用对象和范围是相当宽泛的，如数字化农业机械，大田或温室生产管理，以及全球定位系统 (GPS)，地理信息系统 (GIS)，遥感技术，数字化网络等各种数字技术在农业领域中的应用。所有这些技术应用的最终服务对象主要是农产品。植物可以被认为是农产品中的最主要、最重要的产品。这样的农产品包括：粮油作物、瓜果蔬菜、花卉药材、树苗草皮、香料染料等一系列植物类产品。因此可以说植物是“数字农业”技术应用的核心对象。以数字化控制温室应用为例，常规的直接被控对象是机电类型的执行

机构，如供水，施肥，加温，鼓风、控光等过程对象。然而，实际的过程控制对象应该是植物体。为了以数字化控制方式提高这些产品的产量与质量，对植物生长过程的定量化描述是实现优化目标的必然依据。所有机电类型执行机构的输出，应该是根据植物生长模型计算结果的建议值来设定。目前多数的现代化温室虽然已经相当程度的实现了数字化控制方式，但是由于没有包括植物生长模型模块，这样的温室最多只能被认为是辅助技术（相对而言）的完善。植物生长模型应该被认为是“数字农业”中的核心环节。

与许多辅助技术相比，目前有关植物生长建模的现有技术水平还是相当初级。这主要是由于其它技术的研究对象是机器，而植物生长建模研究对象是生命体。由于该技术相当不成熟，因此它也成为实施所谓“数字农业”，“信息农业”或者“精细农业（Precision Agriculture）”[10]中的关键技术，或“瓶颈”技术。还是以温室应用为例。中国的番茄生产面积总量在90年代跃居世界前列。但是单位面积产量较低。中国的现代化温室番茄最好的产量水平（上海孙桥进口的荷兰设施）也只有27—34kg/m²（1996—2000）。而荷兰、以色列的平均水平为60—70kg/m²，是我国平均水平的4—5倍。其中，温室番茄作物模型知识的应用可以被认为是影响因素之一。我们知道，荷兰研究机构与大学曾分别开发出TOMGRO与TOSIM两个温室番茄作物模型软件。尽管这两个软件目前还基本上是以研究性质为主，该模型研究成果对于温室技术应用的指导是起到关键作用的。因此，植物生长建模应该被认为是影响“数字农业”整体发展水平的关键技术。

5. 有关发展对策建议

以计算机为手段对植物生长进行建模与仿真，将为探索植物生命的奥秘和生长过程的规律，以及改善人类生存环境质量带来新的契机。对于中国这样一个农业大国、林业弱国，开展植物生长的建模研究有着特别重要的意义。随着生态环境意识提高，保护和有效利用植物将受到进一步重视。农林业信息化将成为二十一世纪的重要发展趋势，生态环境保护与建设是人类社会可持续发展的永恒主题。无论从科学意义还是从应用前景而言，我们应该尽快地作出相应的决策。下面提出三条发展对策建议：

- I. 制订中国“数字农业与农村信息化”发展战略规划。将农业生物信息学列入重大基础理论问题，其中植物生长建模研究作为科学技术应用发展的主攻方向。鉴于该领域的科学问题及应用研究极具挑战性（西方国家在建模方面研究已有三十多年历史），希望其相应的发展战略规划周期要充足，建议为10年。
- II. 建议植物生长建模应用的近期目标（3—5年）优先立足在温室作物上。这是由于温室环境相对于大田环境更为平稳、可控。这样将有利于模型预测结果的可靠性。只有可靠的模型才能被用户所接受。这也是植物生长建模技术是否能够

在农业普及应用的关键。目标是使中国温室的平均生产水平在五年内与国外先进国家平均生产水平的差距显著缩小的同时，更重要的是为发展出适合中国国情的节水、节能控制方式提供技术指导。

III. 鼓励多学科交叉的合作，包括建立农学与信息科学合作研究机构的联合实验室。强化国际间的学术交流与合作，特别是在经费上支持参加国际科研合作计划。在中国召开该学科方面的国际学术会议。使中国在该领域的研究水平与国际接轨，并逐步发展出世界一流的学术创新。同时，在教育机构中，设置信息学科与农学相结合的专业方向（3年内），培养该学科领域的教师队伍和研究队伍。

最后，衷心希望中国在未来的“数字农业”发展中能够在植物生长建模这一核心与关键技术方面真正取得国际领先地位。

参 考 文 献

- [1] 胡包钢, 赵星, 严红平, Ph. de Reffye, F. Blaise, 熊范纶, 王一鸣, “植物生长建模与可视化—回顾与展望”, 《自动化学报》, 2001, Vol. 27, No. 6, pp. 816-835, .
- [2] 郭焱, 李保国, “虚拟植物的研究进展”, 《科学通报》, 2001, Vol. 46, No. 4, pp. 608-615.
- [3] 丁维龙, 赵星, 熊范纶, 腾明贵, 撒力, “虚拟植物建模及其软件开发进展”, 《模式识别与人工智能》, Vol. 15, No. 4, pp. 435-441.
- [4] 彭鹏, 谢炳庚, 侯伊林, “关于数字农业”, 《农业现代化研究》, 2000, Vol. 21, No. 4, pp. 254-256.
- [5] 高亮之, “数字农业与我国农业发展”, 2001, 2, 4.
http://www.agri.ac.cn/agri_net/02/2-04/bd63sx.htm
http://www.agri.ac.cn/agri_net/02/2-04/bd136sz.htm
- [6] 唐世浩, 朱启疆, 闫广建, 周晓东, 吴门新, “关于数字农业的基本构想”, 《农业现代化研究》, 2002, Vol. 23, No. 3, pp. 183-187.
- [7] 胡鞍钢, 周绍杰: “中国信息化战略: 缩小信息差距”, 《中国工业经济》, 2000年, 第一期。
- [8] 胡鞍钢主编, 《地区与发展: 西部开发新战略》, 中国计划出版社, 2001年, 第222页。
- [9] 第95次香山会议“植物生理生态过程模拟与信息农业”, 1998年5月6-9日, 北京, 香山。
- [10] 汪懋华, “‘精细农业’的实践与农业科技创新”, 《中国软科学》, 1999, Vol. 4, pp. 21-25.