

温室植物生长数字化模型构建技术^{*}

唐卫东¹ 朱平¹ 郭晨¹ 刘昌鑫¹ 李萍萍² 卢章平³

(1. 井冈山大学信息与传媒学院,吉安 343009; 2. 江苏大学现代农业装备与技术省部共建教育部/江苏省重点实验室,镇江 212013; 3. 江苏大学图形技术研究所,镇江 212013)

【摘要】 根据试验观测值提取植物生长特征信息,以累积生长度日为参数构造植物的形态发生模型,采用信息映射与归一化方法对信息进行重构,建立植物生长数字化模型。通过实例验证表明,该方法实现了植物生长受外部环境作用下的动态模拟,为实时掌握与合理决策植物适宜的生长条件提供依据。

关键词: 温室 植物生长 数字化 模型

中图分类号: S126; TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)01-0159-04

Digital Construction of Plant Growth Model in Greenhouse

Tang Weidong¹ Zhu Ping¹ Guo Chen¹ Liu Changxin¹ Li Pingping² Lu Zhangping³

(1. School of Information and Multi-media Science, Jinggangshan University, Ji'an 343009, China

2. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education & Jiangsu Province, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China 3. Institute of Graphics Technology, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract

The features of plant growth could be extracted from the experimental results, and the morphological model of plant could be constructed with the parameter of accumulative growing degree day. Additionally, the digital growth model of plant could be performed using information reconstruction method such as information normalization and mapping process. The experiment results showed that the proposed method was effective in dynamically simulating the plant growth under the interaction of environment. It could provide valuable evidences for real time obtaining and determining the proper conditions for plant development.

Key words Greenhouse, Plant growth, Digitalization, Model

引言

温室环境调控水平对发挥设施农业优质高效的生产功能具有重要影响。荷兰、日本、美国等发达国家在该领域的研究起步较早,其中一些学者将作物生长模型应用于温室环境控制,对温室作物生长所需环境进行预测^[1~5]。然而,在利用作物生长模型对温室作物实施环境调控时,常因模型参数选择不当而使调控效果不佳,信息滞后也影响模型功能和效率,因此在实施作物生产与微观管理方面受限;而采用计算机手段和信息技术,在现代温室可控环境下构建反映植物生长机理的虚拟植物模型^[6],则不

仅可以实现植物生长信息的数字化,还为温室环境智能控制提供决策依据。目前有关虚拟植物的研究多以农田作物为主,而对温室虚拟植物的研究则不多见,尤其是植物生长数字化及其在温室环境调控中的研究尚未见报道。为此,本文在分析植物受外部环境作用规律的基础上,对温室植物生长数字化方法进行研究,通过温室植物生长的动态模拟,为有效实施现代温室生产与管理提供决策和技术支持。

1 植物与外部环境的信息交互

植物在生长过程中离不开光照、温度、湿度、水肥等环境因子的作用,而植物生长同时也对外部环

收稿日期: 2009-03-20 修回日期: 2009-05-31
^{*} 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20060299003)、江西省教育厅青年科学基金资助项目(GJJ09591)和江西省教育厅科技计划资助项目(GJJ08417)
作者简介: 唐卫东,副教授,博士,主要从事信息可视化、虚拟植物技术、温室环境控制研究,E-mail: twd_1974@126.com

境产生相应的影响,即植物与环境之间存在一定的相互作用。植物与外部环境之间基本关系如图 1 所示。

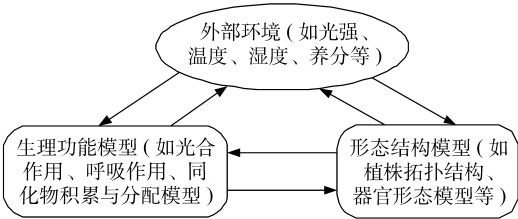


图 1 植物与外部环境的作用关系

Fig. 1 Correlation between plant and environment

植物生长不仅发生自身形态结构与生理功能的变化,还融合了与其生长相关的外部环境信息,如温度、光强等^[6-7],因此,植物生长是一个不断与外部环境进行信息交互的过程,其信息交互关系如图 2 所示。

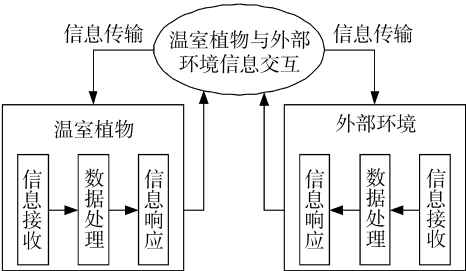


图 2 温室植物与外部环境信息交互模型

Fig. 2 Model of information interaction between plant and environment in greenhouse

植物与外部环境之间的信息交互依次经过各自的信息接收、数据处理及信息响应等 3 个阶段,然后借助植物与外部环境之间的信息交互界面,通过调用信息传递函数实现植物与外部环境之间的信息传输。

2 数据采集及信息处理

2.1 数据采集

从植物与外部环境之间的信息交互关系得知,通过试验采集的数据包括环境信息和植物生长信息。环境信息主要是温室内外温度、光照、湿度、CO₂ 浓度,温室外部的风速、风向、雨量以及土壤水分等,这些信息通过温室环境测控系统的相应传感器获得;植物生长信息包括温室栽培植物的生理状态(蒸腾速率、光合作用速率和茎流量等)、器官生长量(茎粗、株高等)等。其中光合作用速率、蒸腾速率等数据由光合测定系统获得,茎流量、茎粗等数据由植物生理生态系统采集获得,株高可采用位移传感器采集获得。

2.2 信息处理

采集的原始信息由于数据粗糙或信息之间缺

乏内在关系而无法反映植物生长机理,为此,需要对原始数据进行处理以便为植物生长的数字化模拟奠定基础。处理过程主要包括:①在试验观测数据分析和预处理基础上,对植物生长进行定量化处理,提取反映植物不同生长阶段的特征信息,如植株拓扑结构与器官形态信息。②对特征信息进行筛选和优化组合,去掉次要的和重复的信息,以获得植物不同生长阶段的形态参数与生理生态参数。③采用合适的数据结构并根据不同参数类型有序地组织这些信息,由此建立植物生长参数库,为构建植物生长数字化模型奠定基础。

通过对所采集的数据信息进行分析、筛选,寻找不同的气候条件、环境控制设备状态、植物类型和植物生长阶段对温室环境与植物生长影响的特征信息,并作为植物生长数字化的“基本信息”。根据温室环境控制系统和“基本信息”的特点,采用 D-S 证据理论或模糊理论等方法对植物生长信息与环境信息进行融合,为实施温室环境调控提供依据。

3 虚拟植物及其数字化

3.1 形态发生数学模型

依据试验所提取的植株生长特征信息,建立反映不同生长阶段植株拓扑结构及器官形态变化的生长参数库,通过定量化处理各主要器官在不同生育阶段的形态变化,依据植株拓扑变化规则及同化物在各器官内的定量分配,构造以累积生长度日为参数的植物形态发生数学模型,由此确立植物生长与外部环境之间的作用关系^[6,8-9]。以植株株高 $y(\text{cm})$ 随累积生长度日 $x(^\circ\text{C}\cdot\text{d})$ 变化的函数关系表示为

$$y=f(x)$$

该函数可依据试验观测值采用 Growth 曲线、指数曲线或 Logistic 曲线等相关拟合模型确定。采用类似方法,可依次获得植物各器官形态发生模型,模型参数亦由试验观测值确定,在此不再赘述。

3.2 信息重构处理

为了实现植物生长过程的计算机再现,在将抽象的植物生长信息转换为直观的数字化信息时^[10],采用信息映射与归一化方法对信息进行重构。

(1)信息映射:依据植物形态发生数学模型,由试验观测值及植物不同生育阶段特性提取植物生长参数库的形态信息,并根据植株结构和各器官形态将植株拓扑信息和器官形态信息通过图形变换映射处理为点、线、面等几何图形信息,再采用相关的数

据结构组织与存储这些信息以供调用。

(2)信息归一化:采用平移、缩放、旋转等几何变换方法对植株各器官在不同生长阶段的几何信息进行归一化处理,再依据器官生长特性基于 Nurbs 技术与器官图形化函数模块构建归一化的器官图形库。由于植株在不同生长阶段器官形态变化的相似性,在对植株生长进行动态模拟时,通过调用归一化的器官图形库再通过几何变换便可快速获取植物不同生长阶段的图形图像信息。归一化的叶片器官在植株不同生长阶段被调用前后的示意图如图 3 所示。其他归一化的器官也可同时被调用,方法类似,在此不再赘述。

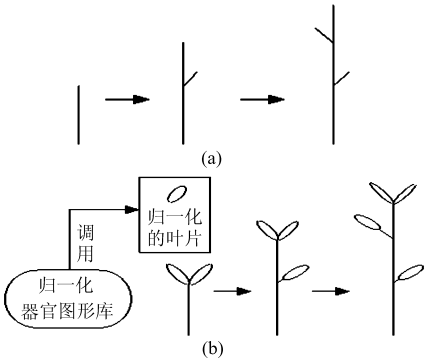


图 3 归一化器官调用示意图

Fig. 3 Illustration of transfer of normalizing organ
(a) 调用前 (b) 调用后

3.3 数字化模型构建

在信息重构基础上,根据器官形态发生方式构建各器官几何模型,并依据植株拓扑变化规则,基于植物生长参数与器官图形库,结合器官纹理、光照模型构建植株拓扑结构与器官形态变化的数字化显示模型。在此基础上通过调用相关图形的绘制函数,实现将抽象的植物生长过程转换为采用直观形象的可视化方式再现。构建植株形态数字化模型流程如图 4 所示。

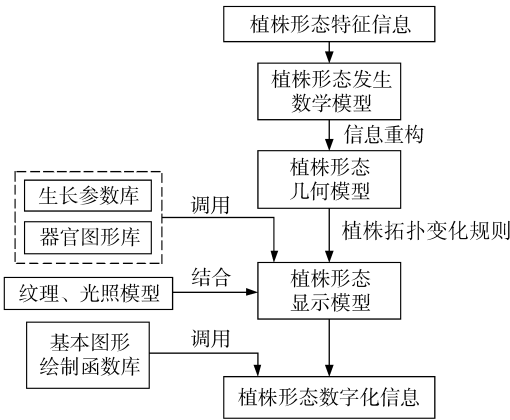


图 4 植株形态数字化模型构建流程

Fig. 4 Construction of digital model of plant morphology

4 试验检验与分析

以温室立体栽培黄瓜为例,采用 Visual C++ 开发工具,结合 OpenGL 提供的核心函数库与实用库函数,依据试验观测值,开发了一个温室黄瓜生长数字化环境调控原型系统。该系统在信息处理及虚拟植物技术基础上,采用基于输入输出模式的数据采集与特征提取-信息处理与数字化-试验分析与环境调控技术流程。通过人机交互对植物生长进行数字化模拟,由此预测分析并实时掌握与合理决策植物适宜的生长条件,以便对温室环境实施有效控制。

针对黄瓜生长特点及外部环境因子的作用,本系统设计了一个基本属性对话框,由该对话框进行交互设计,修改植株形态参数,如叶片形状、叶与茎的夹角、节间变化等,如图 5 所示;外部环境因子如光强、温度等则根据试验采集数据通过加载环境因子文本文件获得,图 6 所示为温室环境因子输入格式。

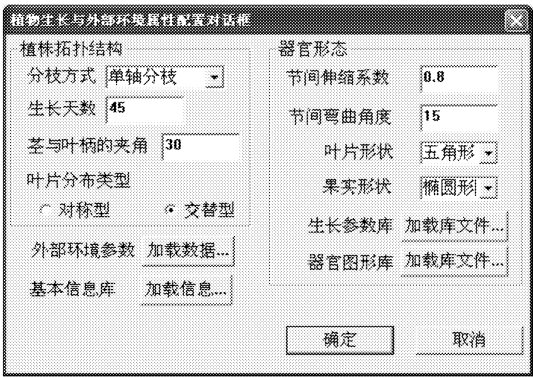


图 5 黄瓜及外部环境属性配置对话框

Fig. 5 Dialog box of plant morphology and environment properties configuration

温室环境因子观测记录 - 记事本				
文件(F)	编辑(E)	格式(O)	查看(V)	帮助(H)
日期	日序	白天温度	平均温度	日照时数
10月01日	270	24	23	6
10月02日	271	21	19	7
10月03日	272	26	24	9
10月04日	273	25	22	7
10月05日	274	24	20	5
10月06日	275	26	24	6

图 6 温室环境因子输入格式

Fig. 6 Imputing format of greenhouse environment

通过改变黄瓜有关形态参数及外部环境条件后,得到两种程序运行结果,如图 7 所示,其中图 7a 模拟了黄瓜在不适宜环境下的动态生长过程,因为黄瓜没有获得所需的环境条件而无法保持正常的生长发育,如植株叶片枯黄且无花果;而当黄瓜获得适宜的环境条件后才能完成正常的生长发育,如图 7b 所示,黄瓜从营养期到开花结果期一直保持良好的生长状况。

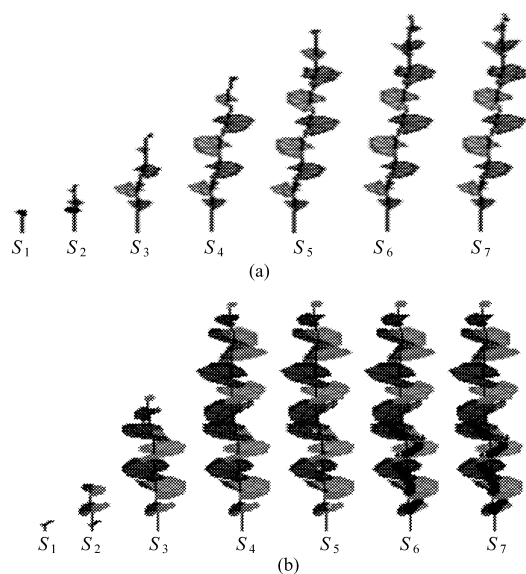


图7 黄瓜在外部环境作用下的动态生长模拟

Fig.7 Simulation results of plant development under the interaction with environment

- (a) 黄瓜在不适宜环境下的生长模拟
(b) 黄瓜在适宜环境下的生长模拟

由以上植株生长过程不难发现,从植物的幼苗阶段(S_1)开始到其发育成熟阶段(S_7),若给定适合植物生长的光照、温度、水分及养分等条件,则在这些外部环境因子作用下,植物的形态结构(如主干、叶片、花果等)能够按照正常的生长规律发生变化,否则需要对温室环境相关参数进行调节以获得适宜植物生长的外部环境条件。

5 结束语

基于虚拟植物技术的思想方法,对温室植物生长数字化模型构建技术进行了研究。采用现代计算机与信息技术为主体的数字化、智能化和可视化等方法对植物生长进行动态模拟,不仅实现了植物生长过程的重现、有效反映植物生长信息及其变化规律,还可以通过信息的有机融合及借助计算机手段实现对植物生长的动态跟踪与管理,提高温室环境智能决策与调控水平,从而更好地为现代农业生产与管理服务。

参 考 文 献

- 1 Fisher P R, Heins R D. The greenhouse care system: a decision support system for height control and scheduling of potted flowering plants[J]. Acta Horticulturae, 1996(417): 41~45.
- 2 Gijzen H, Dayan E. Hortisim: a model for greenhouse crops and greenhouse climate[J]. Acta Horticulturae, 1998(456): 441~450.
- 3 Van Straten G, Challa H, Buwalda F. Towards user accepted optimal control of greenhouse climate[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 26(3): 221~238.
- 4 孙忠富, 陈人杰. 温室作物模型与环境控制管理研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(4): 1~3.
Sun Zhongfu, Chen Renjie. Greenhouse crop model and environmental control and management[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2003, 11(4): 1~3. (in Chinese)
- 5 邓璐娟. 智能温室的模型和控制策略研究[D]. 上海: 上海大学, 2004.
Deng Lujuan. Study on model and control strategy of intelligent greenhouse[D]. Shanghai: Shanghai University, 2004. (in Chinese)
- 6 唐卫东. 基于生长模型的虚拟植物技术研究——以北固山湿地优势植物芦苇为例[D]. 镇江: 江苏大学, 2007.
Tang Weidong. Study on virtual plant technology based on plant growth model——dominant plant-reed in the beigu-mountain wetland as a case[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2007. (in Chinese)
- 7 唐卫东, 刘昌鑫, 李萍萍, 等. 基于 Open-L 系统及递归表示的虚拟植物模型[J]. 农业机械学报, 2009, 40(1): 167~170.
Tang Weidong, Liu Changxin, Li Pingping. Virtual plant model based on Open-L system and recursive expression[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(1): 167~170. (in Chinese)
- 8 李萍萍, 唐卫东, 卢章平. 基于构造体系的植物生长定量化研究[J]. 农业机械学报, 2007, 38(5): 126~130.
Li Pingping, Tang Weidong, Lu Zhangping. Quantitative study on plant growth based on constructive system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(5): 126~130. (in Chinese)
- 9 Tang Weidong, Li Pingping. The Researches on modeling of virtual allocation of photoassimilates in wetland reed[C] // Proceedings of 2008 International Conference on Informationization, Automation and Electrification in Agriculture, Zhenjiang, 2008.

表 3 国外不同结构育肥猪舍的 NH₃ 排放系数

Tab.3 Ammonia emission factors of different types of pig buildings in foreign countries

畜舍类型	地面材料及畜舍环境	排放系数/g·(d·pig) ⁻¹	所用仪器	参考文献
实心地面	每天人工将粪清入粪沟(0.9~1.2 m ² /头)	6.939	Drager Pac III	[6]
漏缝地面	钢筋混凝土(0.67~0.75 m ² /头)	7.71		
垫草	稻草,充足且每周更换(1.4~1.7 m ² /头)	3.084		
漏缝地面	钢筋混凝土(0.75 m ² /头)	6.2	红外光声检测仪	[7]
垫草(30 cm)	育肥阶段 46 kg 稻草/头(1.2 m ² /头)	13.1		
漏缝地面	深坑	11.83		
漏缝地面	刮板清粪,每天清理多次	10.97	色谱法	[4]
垫料(40 cm)	锯末、稻草、木屑混合垫床	3.54		
1/7 漏缝地面		2.57~10.19	纳氏试剂比色法	[8]

3 结束语

在模拟实际生产的动物人工气候室对 3 种不同地板结构的猪舍 NH₃ 排放相关参数进行连续在线检测,研究了 3 种不同地面类猪舍的 NH₃ 排放系数。半缝隙地面舍、实心地面舍、生物发酵床猪舍

NH₃ 排放系数分别为:(9.47±7.09)、(11.23±4.23)、(4.27±2.09) g/(d·pig)。研究显示,地面结构类型对猪舍 NH₃ 排放影响显著,半缝隙地面和实心地面常规养殖方式下的猪舍 NH₃ 排放量相对生物发酵床猪舍较高,这表明生物发酵床养猪对 NH₃ 减排有一定效果。

参 考 文 献

1

EEA. EMEP/CORINAIR atmospheric emission inventory guidebook, group: agriculture manure management [M]. Copenhagen, Denmark: European Environment Agency, 1998.

2

Ni J Q, Heber A J, Diehl C A, et al. Ammonia, hydrogen sulfide and carbon dioxide release from pig manure in under-floor deep pits[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 2000,77(1): 53~66.

3

Heber A J, Ni J Q, Lim T T, et al. Air emissions from swine production buildings[R]. 2004;21.

4

Kim K Y, Han Jong Ko. Quantification of ammonia and hydrogen sulfide emitted from pig buildings in Korea[J]. Journal of Environmental Management, 2008,88(2):195~202.

5

Groot Koerkamp P W G, Metz J H M, Uenk G H, et al. Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1998,70(1): 79~95.

6

Kavolelis B. Impact of animal housing systems on ammonia emission rates[J]. Polish J. of Environ. Stud., 2006, 15(5): 739~745.

7

Philippe F X, Laitat M, Canart B, et al. Comparison of ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs, kept either on fully slatted floor or on deep litter[J]. Livestock Science, 2007,111(1~2):144~152.

8

朱志平,董红敏,尚斌,等. 育肥猪舍氨气浓度测定与排放通量的估算[J]. 农业环境科学学报,2006,25(4):1 076~1 080.

Zhu Zhiping, Dong Hongmin, Shang Bin, et al. Measurement of ammonia concentration and estimation on emission flux of finishing pig in pig house[J]. Journal of Agro-environment Science, 2006,25(4):1 076~1 080. (in Chinese)

(上接第 162 页)

10

唐卫东,李萍萍,卢章平. 虚拟植物系统模型耦合构建技术[J]. 农业机械学报,2008,39(5):94~98,107.

Tang Weidong, Li Pingping, Lu Zhangping. Technology of constructing virtual plant system including model coupling[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(5):94~98,107. (in Chinese)

11

杨丽丽,王一鸣,康孟珍,等. 不同种植密度番茄生长行为的结构功能模型模拟[J]. 农业机械学报,2009,40(10): 156~160.

Yang Lili, Wang Yiming, Kang Mengzhen, et al. Simulation of tomato growth behavior in response to planting-density based on functional-structural model[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(10):156~160. (in Chinese)