

白掌组培苗育苗期可视化建模研究

杨 意^{1a,1b}, 初 麒², 杨艳丽², 张祥接³, 夏红梅^{1a}, 辜 松^{1a}

(1. 华南农业大学 a. 工程学院; b. 电子工程学院, 广州 510642; 2. 广州实凯机电科技有限公司, 广州 510642; 3. 佛山市三水阳特园艺有限公司, 广东 佛山 528139)

摘 要: 为给花卉种苗自动化生产装备开发提供形态设计参数, 为普通育苗户提供育苗过程中各时间点育苗质量评价依据, 研究白掌组培苗在标准生长环境下的三维动态仿真模型。针对白掌组培苗育苗阶段, 采用机器视觉测量法对育苗过程跟踪测量, 分析苗的主要外形参数与生长时间的关系, 得到各主要外形参数生长曲线。结果表明: 白掌苗各外形参数均与时间呈现二次多项式函数关系, 且相关性皆在 0.85 以上。根据其外形参数曲线及函数关系, 结合参数 L 系统生成白掌育苗期动态仿真模型, 通过与标准生长环境下的苗状态对比, 其生长状态基本一致。研究结果可为其他观叶类花卉种苗的动态测量和建模提供参考。

关键词: 白掌; 组培苗; 生长函数; 虚拟建模; 参数 L 系统

中图分类号: S330; TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1003-188X(2019)09-0142-05

DOI:10.13427/j.cnki.njyi.2019.09.026

0 引言

在农业生产中, 植物生长模型是植物生产管理、质量评价、特别是产量预测的重要工具^[1], 可利用植物生长模型对植物进行光照和冠层尺度分析^[2], 也可将其作为植物自动化生产装备开发设计的重要依据^[3]。植物生长模型仿真是以单株或群体植物的统计特性为基础, 利用计算机建立植物三维仿真模型的方法, 是目前计算机图形学研究热点之一^[4]。

目前, 植物模型仿真研究主要集中在树木^[5]、花卉^[6]、植物根系^[7]及经济作物^[8]上。A Owens 等利用生物动机算法对多种植物的花序进行了模拟和仿真^[9]。A Runions 等根据植物叶片的多样性原则, 提出植物叶片计算模型, 指出叶片发育由叶缘、维管组织和叶片叶脉决定^[10]。目前, 针对植物建模研究多集中在树木和森林群体树木^[11-12], 对种苗的触及较少, 且研究多着重于仿真模型外观与实际植物种类的相似程度, 而以植物实际生长时间为变量, 考察各叶片和茎秆等主要外形参数生长变化情况, 进行等量建模的研究报道较少。为此, 基于机器视觉测量, 通过对标准生长环境下白掌组培苗 3 个月育苗期定期监测, 获取描述其外形特征主要参数的生长曲线和生长

函数, 并以此为基础建立基于参数 L 系统的育苗期动态仿真模型。研究结果不仅能为普通育苗户提供各时间点育苗质量评价依据, 也可为不同时期花卉种苗自动化生产装备的开发与设计提供形态设计参数依据。

1 材料和方法

1.1 材料与试验环境

以市场占有率较高的观叶植物“维克”白掌组培苗为研究对象, 监测其从移栽至育苗期结束期间主要外形参数的变化情况, 监测时间为 2016 年 11 月 13 日-2017 年 2 月 12 日。样本苗为标准生长环境下的白掌组培苗, 叶片 3 片, 苗高 42~50mm, 冠幅 38~42mm, 地径 1.9~2.1mm, 样本数 60。

1.2 测试方法

描述植物外形特征时, 常用整体评价参数有叶片面积(LA)、苗高(SH)、冠幅(CD)和地径(DG)^[13]。在正常生长条件下白掌组培苗移栽时其侧方整体投影面积和其叶片面积存在线性关系, 且相关性较高^[14], 因此可通过整体投影面积(PA)、苗高(SH)、冠幅(CD)和地径(DG)评价其整体生长状态。为实现白掌苗三维建模, 除上述整体参数外, 还需其细节参数, 包括叶片生长角(APS)、叶柄长度(LP)、叶柄直径(DP)、叶片面积(LA)和叶片倾角(LAL)。

如图 1 所示: 整体投影面积(PA)指植株侧面在背光源上的投影面积; 苗高(SH)指从基质表面到苗顶部最高点的高度; 冠幅(CD)指苗冠部最大位置处的直

收稿日期: 2018-04-08

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0701504)

作者简介: 杨 意(1975-), 女, 陕西咸阳人, 讲师, 博士研究生, (E-mail) yangyih2007@163.com。

通讯作者: 辜 松(1963-), 男, 广东汕头人, 教授, 博士生导师, (E-mail) sgu666@sina.com。

径; 地径(*DG*)指基质表面处的苗径; 生长角(*APS*)指叶片叶柄与竖直方向的夹角; 叶柄长度(*LP*)指叶片生长点到叶片基部之间的叶柄长度; 叶柄直径(*DP*)指叶柄长度中点处的直径; 叶片面积(*LA*)指单片叶片的面积; 叶倾角(*LAL*)指叶脉中线与竖直方向的夹角。

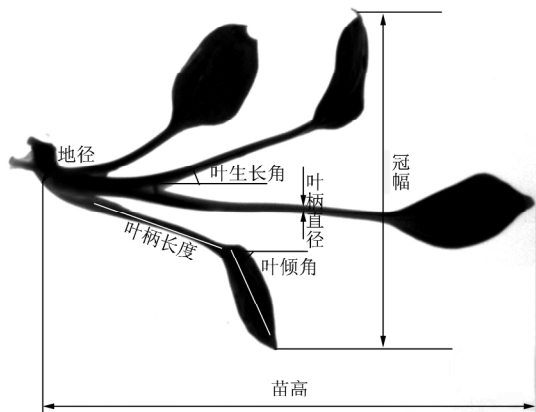


图 1 白掌外形参数

Fig.1 Measurement of *spathiphyllum floribundum* seedling parameters

为获取其茎干、叶柄和叶片各参数在空间的分布位置、尺寸和角度, 本文设计了如图 2 所示的三维旋转测量平台。



1.背光源 2.苗座 3.旋转载物台 4.视觉相机 5.PC 机

图 2 白掌苗生长参数测量平台

Fig.2 Measuring platform for growth parameters of *spathiphyllum floribundum* seedlings

测试育苗期, 组培苗移栽首日标记为第 0 天, 此后每 10 天测量 1 次, 共测量 10 次。叶片面积使用叶面积测试仪(上海精科 YMJ-B 型)测量, 其余参数均由图 2 所示视觉测量平台测取。视觉测量软件采用 COGNEX 视觉软件 In-Sight 4.8.4。

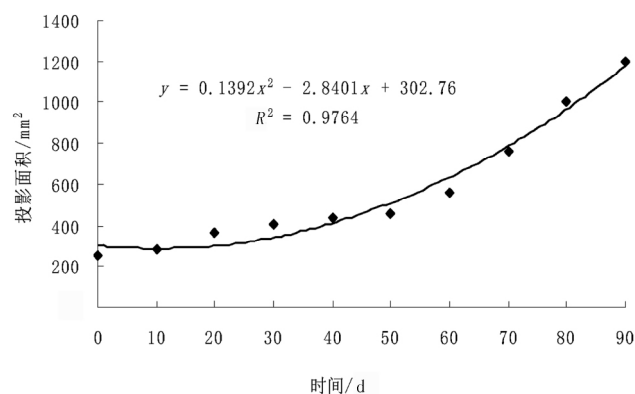
各参数的测量方法如下: 投影面积通过测量白掌

苗各角度图像像素面积, 求平均后得到此样本苗投影面积; 苗高通过测量白掌苗各角度图像的最大苗高为此样本苗苗高; 冠幅通过测量白掌苗各角度图像的最大冠幅为此样本苗冠幅; 地径通过测量白掌苗各角度图像地径, 求平均得到此样本苗地径; 叶生长角通过测量样本苗待测叶片叶柄中线与竖直方向的最大夹角为此叶片的叶生长角; 叶柄长度通过测量白掌苗各图像待测叶片从叶片生长点至叶片基部的最大长度作为此叶片的叶柄长度; 叶柄直径通过测量白掌苗各图像待测叶片叶柄长度中点处的叶柄宽度为此叶片的叶柄直径; 叶倾角通过测量白掌苗各图像待测叶片叶脉中线与竖直方向的最大夹角为此叶片的叶倾角。

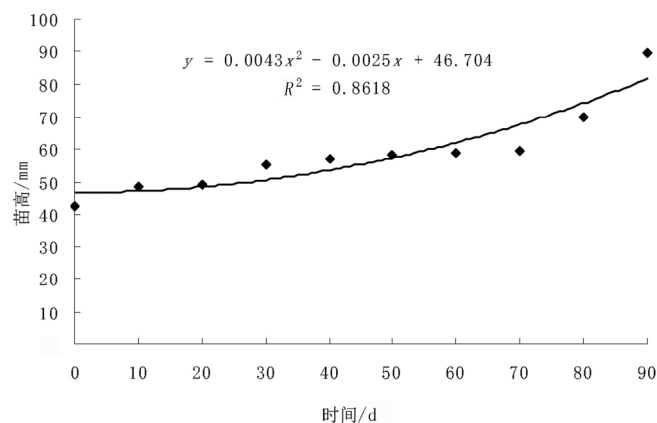
2 结果与分析

对得到的 10 个测量时间点各样本苗数据进行统计分析, 得到不同时间点各整体参数以及细节参数的数据, 拟合可得到各参数的生长曲线, 其整体参数曲线分别如图 3 所示。

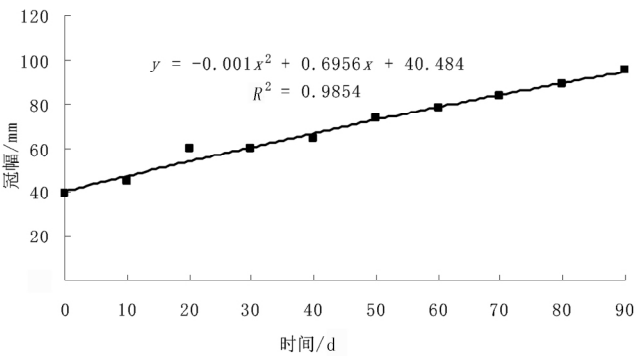
由图 3 可知: 白掌育苗期其整体投影面积、苗高、冠幅和地径均与时间呈二次多项式函数关系, R^2 皆在 0.85 以上。



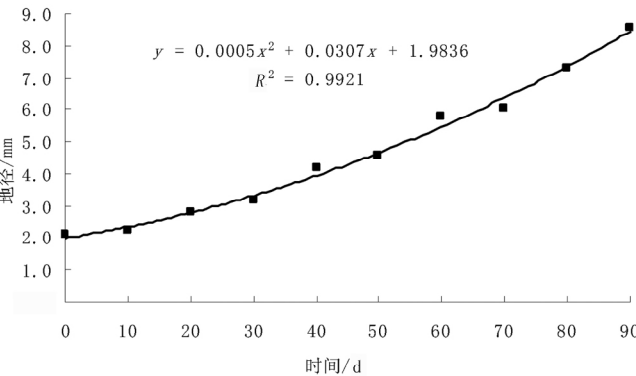
(a) 投影面积(*PA*)与时间关系



(b) 苗高(*SH*)与时间关系



(c) 冠幅 (CD) 与时间关系



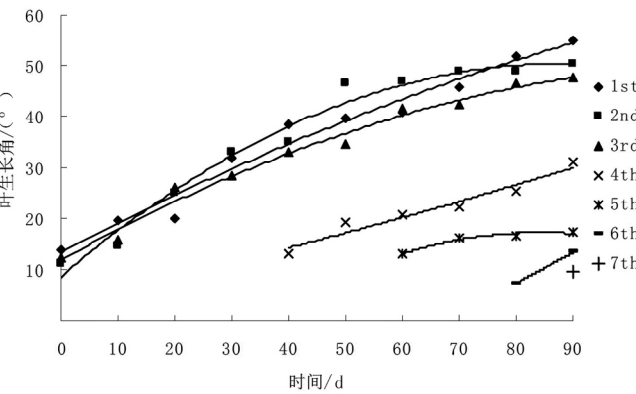
(d) 地径 (DG) 与时间关系

图 3 白掌苗整体参数生长曲线

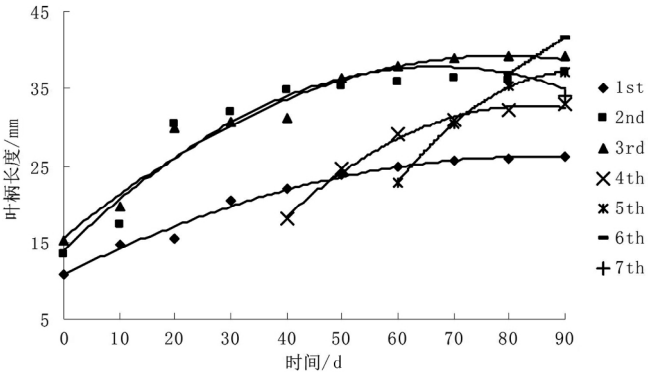
Fig 3 Growth curves of overall parameters of *spathiphyllum floribundum* seedlings

对于白掌苗,其移栽时已有的叶片为组培叶,移栽后长出的叶片为新叶。当移栽后白掌种苗生长至 7 片叶片,包含 3 片组培叶、4 片新叶时,育苗期结束。从苗根部开始对叶片编号,分别为第 1 片(1st),第 2 片(2nd),…第 7 片(7th)。样本苗各叶片细节参数统计分析后得到生长曲线如图 4 所示。

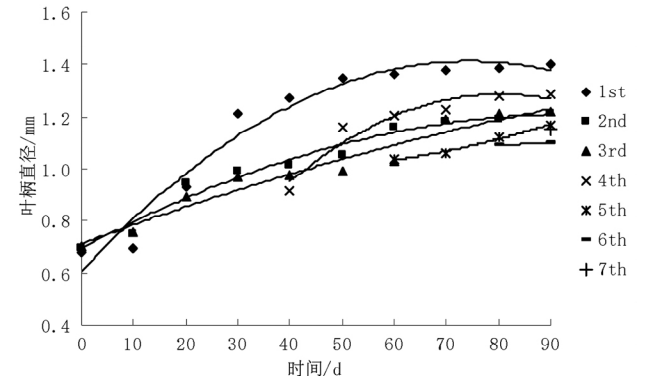
由图 4 可知:约在移栽后 40、60、80、90 天左右,白掌种苗生出第 1、2、3、4 片新叶;进一步分析可知,各细节参数生长与时间呈现二次多项式关系,且相关性皆大于 0.9。



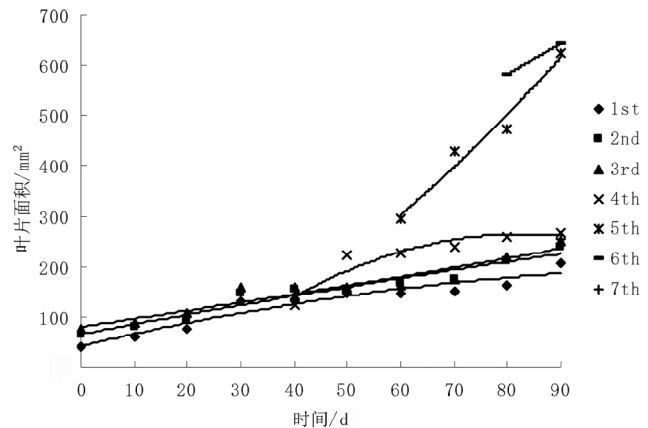
(a) 叶生长角 (APS) 与时间关系



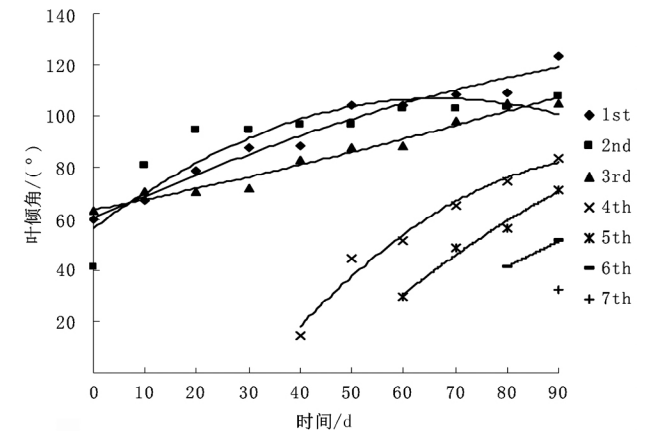
(b) 叶柄长度 (LP) 与时间关系



(c) 叶柄直径 (DP) 与时间关系



(d) 叶片面积 (LA) 与时间关系



(e) 叶倾角 (LAL) 与时间关系

图 4 白掌苗各细节参数生长曲线

Fig.4 Growth curve of detail parameters at different times of *spathiphyllum floribundum* seedlings

育苗过程中,新叶各细节参数的生长速度比组培叶快,间接说明在育苗过程中对苗生长起主导作用的是新叶的生长状态。利用图 3 和图 4 得到的白掌苗生长曲线不仅可为种苗不同时期自动化生产装备设计提供形态设计参数依据,也可根据曲线拟合得到的生长函数,实现白掌苗虚拟建模。

3 基于生长函数的白掌苗建模

目前,构建植物虚拟模型主要利用 L 系统(L system)^[15]、迭代函数系统(IFS)、双尺度自动机^[16]、粒子系统方法和参考轴技术等方法。当已知植物形态结构及各组成部分的生长特点和生长曲线时,利用 L 系统能精确实现不同种类的植物拓扑结构和形态结构模拟。常用方法是根据植物结构模型生成植物的拓扑结构,通过对植物生长过程的观测,研究并确定其生长模式、分支方式及生长曲线,确定 L 系统的公理和产生式,从而确定描述植物形态结构的总体框架。

3.1 结构建模

参数化 L 系统的定义是一个四元组 $G = \langle V, \omega, P, \Sigma \rangle$ 。其中, V 为符号的有限集合,称为字母表; ω 为 V 中的一个串,称为公理; P 为包含若干产生式(也称为规则组)的有限集合;而 Σ 为形式参数集合。

白掌苗拓扑结构为 3D 结构, L 系统三维模型如图 5 所示。

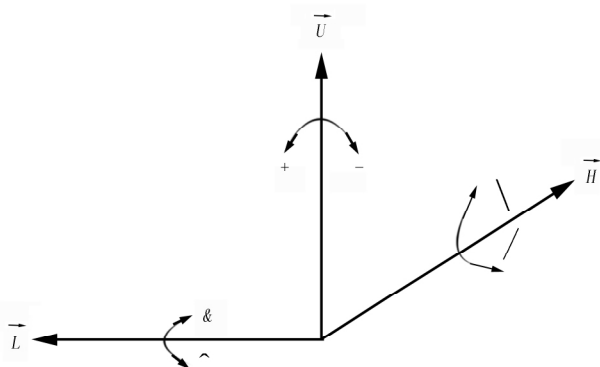


图 5 龟形图三维图

Fig 5 Controlling the turtle in three dimensions

图 5 中的向量满足 $\vec{H} \times \vec{L} = \vec{U}$, -, +, &, ^, \ 和 / 分别表示绕 U 、 L 和 H 轴旋转,其后接对应旋转的角度。

结构建模最主要的决定因素是龟行图前进时的角度、前进步长和旋转角度。由第 2 节分析可知:白掌育苗期内,任意叶片,其叶生长角、叶柄长度、叶柄直径和叶倾角均为时间 t 二次多项式函数,输入时间 t ,根据各参数生长函数,对应可得各叶片的叶生长角角度、叶柄长度、叶柄直径和叶倾角,此结果即为三维骨架建模中龟形图前进角度、步长和旋转角度。

3.2 叶片建模

计算机图形学曲面建模的基本方法是使用双 3 次参数曲面片,此算法非常适合任意曲面交互设计,可生成单个曲面,也可由多个曲面片生成一个复杂的曲面^[17]。白掌叶为长椭圆状披针形,两端渐尖。对于其建模,可通过 3 次 Basizer 曲面,利用空间 16 点确定叶面曲面,曲面函数为 $l(s, m)$ 。其中,参数 s 为叶片面积,可由第 2 节叶片面积函数得到;参数 m 为叶片在空间的编号,两个数据决定了叶片的大小和空间位置。

3.3 整体模型

根据白掌苗拓扑结构中叶柄生长角度、叶柄长度、叶柄直径及叶片面积和叶倾角可建立白掌苗拓扑结构和几何结构,再结合叶片倾角和叶片编号在叶柄顶部拟合不同倾角和面积大小的叶片。图 6 为对移栽后苗龄为 10 天的白掌苗三维建模结果。



(a) 正视图 (b) 侧视图 (c) 俯视图

图 6 白掌苗育苗期建模(苗龄 $t=10d$)

Fig.6 Modeling of spathiphyllum floribundum seedlings
(seedling age $t=10d$)

3.4 育苗期动态仿真模型

白掌苗生长过程中,其苗高、冠幅、地径和叶片面积均随时间的变化不断增长,根据第 2 节的生长函数可以得到其生长函数,根据生长函数可以得到其不同时间的三维模型。由白掌苗模型和生长函数确定参数 L 系统中各参数的大小,建立白掌生长过程中不同时期的模型;建模完成后,输入不同的时间点,可拟合出对应时间点的白掌三维模型。图 7 是利用动态仿真系统得到的各时间点图像。

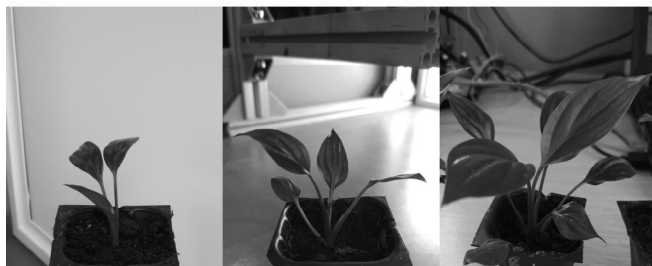


(a) 第 30 天($t=30$) (b) 第 60 天($t=60$) (c) 第 90 天($t=90$)

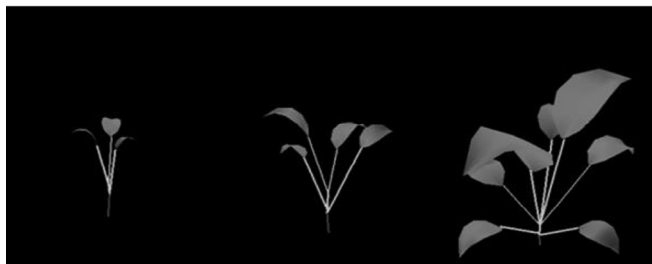
图 7 白掌苗育苗期动态模型

Fig.7 Modeling of of spathiphyllum floribundum seedlings

为对比仿真模型与实际苗的差异程度,分别用上述算法模拟了苗龄为 0、45、90 天的图像,与实际苗的对比图如图 8 所示。



(a) 第 0 天($t=0$) (c) 第 45 天($t=45$) (e) 第 90 天($t=90$)



(b) 第 0 天($t=0$) (d) 第 45 天($t=45$) (f) 第 90 天($t=90$)

图 8 白掌苗仿真图与实际生长对比

Fig.8 Comparison of simulation image with actual growth state of *spathiphyllum floribundum* seedlings

4 结论

1) 通过对标准生长环境下白掌组培苗主要外形参数的视觉监测,得到了其整体投影面积、苗高、冠幅和地径均与时间呈现二次多项式函数关系;其叶片的细节参数叶径夹角、叶柄长、叶柄直径、叶倾角和叶面积也均与时间成二次多项式函数关系,且相关性较高。利用此方法可建立其它类似观叶植物的生长规律和生长函数,测得的生长函数可为花卉种苗自动化生产装备开发提供形态设计参数依据。

2) 利用植物外形参数的生长函数,结合参数 L 系统建立其植株的三维仿真模型。根据三维仿真模型,拟合得到育苗期任意时间点的三维模型。利用动态生长仿真模型得到的特定时间模型,与实际苗的生长叶片数和外形特征基本一致。

参考文献:

[1] Y Guo, Y Han, B Wu, et al. Study on modeling of site quality evaluation and its dynamic update technology for plantation forests [J]. Nature Environment and Pollution Technology,

2013, 12(4): 591-597.

- [2] 柳维扬,彭杰,龚中江,等.基于冠层尺度的枣树色素含量的高光谱估算模型[J].光谱学与光谱分析,2017,37(1):156-161.
- [3] 刘明峰,胡先朋,廖宜涛,等.不同油菜品种适栽期机械化移栽植株形态特征研究[J].农业工程学报,2015,31(S1):79-88.
- [4] 胡少军,耿楠,张志毅,等.基于稀疏图像的真实树交互式建模方法[J].农业工程学报,2014,30(9):168-175.
- [5] 林荣银,邹杰,陈崇成,等.虚拟树木形态结构的交互式编辑技术及其实现[J].农业工程学报,2012,28(S1):175-180.
- [6] 淮永建,曾茜.花卉植物形态与生长可视化仿真研究[J].计算机工程与应用,2012,48(8):185-188.
- [7] 钟南,廖红,严小龙,等.利用相似理论实现植物根系参数的动态预测[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2005,33(10):89-93.
- [8] 袁晓敏,赵春江,温维亮,等.番茄植株三维形态精确重构研究[J].农业机械学报,2012,43(12):204-210.
- [9] A Owens, M Cieslak, J Hart, et al. Modeling dense inflorescences [J]. ACM Transactions on Graphics, 2016, 35(4): 136.
- [10] A Runions, M Tsiantis, P Prusinkiewicz, et al. A common developmental program can produce diverse leaf shapes [J]. New Phytologist, 2017, 216: 401-418.
- [11] 温维亮,郭新宇,王勇健,等.葡萄树地上部形态结构数据获取方法[J].农业工程学报,2015,31(22):161-168.
- [12] Han Y, Wu B, Wang K, et al. Individual-tree form growth models of visualization simulation for managed Larix principis-rupprechtii plantation [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2016, 123(C): 341-350.
- [13] GB/T 18247.2-2000 国家盆花产品等级标准[S].
- [14] 杨意,初麒,杨艳丽,等.基于机器视觉的白掌组培苗在线分级方法[J].农业工程学报,2016,32(8):32-40.
- [15] Lindenmayer, a Mathematical models for cellular interaction in development [J]. Journal of Theoretical Biology, 1968, 18(3): 280-299.
- [16] 赵星, Philippe de Reffye, 熊范纶,等.基于双尺度自动机模型的植物花序模拟[J].计算机学报,2002,25(11):116-124.
- [17] 李辉,罗敏,何兴无.国内花卉三维可视化研究进展[J].北方园艺,2016(8):200-203. (下转第 151 页)

- 报, 2016(17): 40-46.
- [11] 蒙艳华, 兰玉彬, 李继宇, 等. 单旋翼油动植保无人机防治小麦蚜虫参数优选 [J]. 中国植保导刊, 2017(12): 66-71.
- [12] 宋坚利, 刘杨, 刘亚佳, 等. 无人旋翼机航空施药有效喷幅确定方法比较 [J]. 中国农业大学学报, 2017(10): 126-132.
- [13] 陈盛德, 兰玉彬, 李继宇, 等. 植保无人机航空喷施作业有效喷幅的评定与试验 [J]. 农业工程学报, 2017(7): 82-90.
- [14] 秦维彩. 单旋翼植保无人机喷雾参数优化研究 [D]. 镇江: 江苏大学, 2017.
- [15] 兰玉彬, 彭瑾, 金济. 农药喷雾粒径的研究现状与发展 [J]. 华南农业大学学报, 2016(6): 1-9.

Experimental Study on Droplet Deposit Distribution of Different Electric UAVs in Rice Fields

Qi Haixia, Chen Pengchao, Lan Yubin, Huang Xiaoyu, Wang Guobin

(College of Engineering/National Center for International Collaboration Research on Precision Agricultural Aviation Pesticide Spraying Technology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Five kinds of electric drones were used to test the distribution of droplet deposition in rice fields, including single rotor and multi-rotors, centrifugal and hydraulic nozzles. The same application amount of 15 L/ha was set to study the effective spray width, droplet deposition distribution, and liquid deposition amount between rice canopy for each drone. The test results show that the single rotor model has a larger effective spray width; droplet size of the centrifugal nozzle is smaller, but the density is greater. The distribution of droplet deposition uniformity and chemical liquid deposition in the upper part of crops was the best, and the middle layer was the worst. Centrifugal nozzles have better penetration.

Key words: plant protection UAVs; effective spray width; droplet deposition; pesticide deposition

(上接第 146 页)

Abstract ID: 1003-188X(2019) 09-0142-EA

Study on the Visual Modeling of *Spathiphyllum floribundum* Seedlings

Yang Yi^{1a, 1b}, Chu Qi², Yang Yanli², Zhang Xiangjie³, Xia Hongmei^{1a}, Gu Song^{1a}

(1. a. College of Engineering; b. College of Electronic Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Guangzhou Sky Mechanical & Electrical Technology Co., LTD, Guangzhou 510642, China; 3. Foshan Sanshui Youngplant Horticulture Co., LTD, Foshan 528139, China)

Abstract: In order to offer the morphological design parameters for the flower seedling automatic production equipments development and provide basis for evaluation of seedling quality at various time points, the plant physiology and growth morphological model of *spathiphyllum floribundum* tissue culture seedlings under standard growth conditions was studied in this paper. For each sample seedling, its mainly shape parameters were surveyed every ten days. The measurement results showed that in nursery stage, the mainly shape parameters are all have polynomial function relations to the time, and the correlation R^2 are above 0.85. Combined with the parameter L system, the dynamic simulation model of *spathiphyllum floribundum* at seedling stage can be generated, and its growth state is basically the same by comparison with the seedling status under the standard growth environment. The results can be used for other foliage plants and provided a reference for the dynamic measurement and modeling of seedlings.

Key words: *spathiphyllum floribundum*; tissue culture seedlings; growth function; virtual modeling; parameter L system