

玉米叶片几何造型研究

郑文刚, 郭新宇, 赵春江, 王纪华

(国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100089)

摘 要: 针对虚拟作物研究中的作物个体或器官几何造型问题, 用三次 B 样条来拟合玉米叶片的三维形态, 并用虚拟模型进行玉米叶片几何特征的计算。与其它方法相比, 该方法具有精度高, 参数少的特点, 是一种适合于玉米叶片三维造型的好方法。

关键词: 玉米叶片; 几何造型; B 样条曲线; 三维可视化

中图分类号: S513; TP242.62

文献标识码: B

文章编号: 1002-6819(2004)01-0152-03

0 引言

当前, 依托现代信息技术的虚拟植物研究正成为国内外农业科技发展的热点与方向。通过虚拟植物在三维空间中的形态结构及生长发育过程, 以可视化的方式反映各种胁迫条件、人工干预条件对这些过程的影响, 具有真实感、可交互操作等特点, 在农业科研、教学、生产、规划、农业资源配置等方面展示了良好的应用前景^[1]。虚拟植物的关键环节之一是绘制出具有真实感的三维植物形体^[2]。形体的几何外形信息有两类: 几何信息和拓扑信息^[3]。以往的研究多注重于植物的拓扑结构及拓扑结构的生成机制^[4-6], 对作物器官或个体的精确几何造型研究还不多见, 本文用三次 B 样条方法, 对玉米叶片的三维几何形态构建进行研究。

1 数据采样

玉米叶片着生在茎秆上, 叶姿挺拔, 叶片中央纵贯一条细长而坚硬的叶脉, 叶片边缘有波状的皱褶, 形态特征十分明显, 易于用数字化仪进行精确测量, 而且在作物中具有代表性, 所以选用玉米叶片作为研究对象。

在本研究中, 采用美国 Immersion 公司研制生产的威力手 (Microscribe) 三维数字化仪来获取玉米叶片上的特征点, 该数字化仪的精度为 0.23 mm, 完全能够满足研究需要。在实际测量中, 我们以玉米叶片的基部 (叶脉与叶环交点) 为坐标原点, 叶脉走向为 Y 轴正方向, 叶脉向 Z 轴正方向弯曲, 叶宽方向为 X 轴, 坐标系如图 1 所示。采集前首先记录下叶片的方位角 (正北方向为, 顺时针为正向) 和仰角, 然后将玉米叶片旋转到规定的坐标系, 采集是以叶片边缘的皱褶为采样点, 依次在叶子两边缘和叶脉采集点坐标, 在整个叶长方向任意采集 8 个采样点, 以备研究人员进行分析研究。

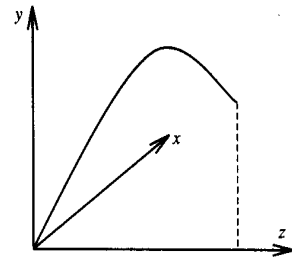


图 1 数据采样时玉米叶片坐标系

Fig. 1 Ordinate system of maize leaf for data acquisition

2 玉米叶片的虚拟重构

2.1 叶曲线及轮廓描述方法

在叶脉不发生弯曲和扭曲的情况下, 叶脉曲线是一条光滑的二维曲线, 可以用适当的数学表达式描述, Stewart 应用一般二次方程表征玉米叶曲线函数^[7]

$$Ax^2 + By^2 + Cxy + Dx + Ey + G = 0 \quad (1)$$

坐标原点是叶脉基部, 从而简化公式为

$$Ax^2 + By^2 + Cxy + Dx + Ey = 0 \quad (2)$$

然后将已经测量得到的采样点代入公式 2, 求解方程组就可以得到方程系数 A、B、C、D、E, 就可以得到曲线上所有点的坐标。这是目前普遍使用的玉米叶脉曲线拟合方程^[8], 该方法简便直观, 缺点是需要计算求解方程组, 而且在叶尖坐标 Y 不是最大坐标的时候, 不能很好地描述叶曲线, 需要将叶片旋转一定角度, 使叶尖的 Y 坐标为最大坐标。为此, 本文采用了一种新的叶曲线拟合方法, 三次 B 样条曲线拟合, 该方法在叶尖坐标是否最大坐标时都适用, 直接进行曲线拟合, 而不必进行叶片角度旋转。

三次 B 样条曲线是目前应用最广泛且具有二阶连续导数的三次样条插值函数^[9], 定义为, 如果函数 $S(x)$ 于 $[a, b]$ 有二阶连续导数, 且在每小区间 $[x_i, x_{i+1}]$ 上是三次多项式, 则称 $S(x)$ 是节点 x_0, x_1, \dots, x_n 上的三次样条函数。数学描述为, 设 P_0, P_1, P_2, P_3 为给定空间的点, 称下列参数曲线

$$P(t) = \sum_{i=1}^4 PB_{i,k}(t), \quad t_k \leq t \leq t_{n+1} \quad (3)$$

为 4 阶或 3 次 B 样条曲线。为了使曲线通过 P_i , 只要使 P_i, P_{i+1}, P_{i+2} 重合, 这时曲线就会通过 P_i 。公式 3

收稿日期: 2002-10-25

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30030090) 资助; 国家 863 计划课题 (2001AA 115410)

作者简介: 郑文刚 (1975-), 男, 博士, 北京 2449 信箱 26 分箱 国家农业信息化工程技术研究中心, 100089

写成通用公式如下所示

$$P(t) = ((1 - 3t + 3t^2 - t^3)P_i + (3t^3 - 6t^2 + 4)P_{i+1} + (-3t^3 + 3t^2 + 3t + 1)P_{i+2} + tP_{i+3})/6$$

(4)

将测量得到的数据点作为控制点代入公式(4)就可以得到叶脉曲线和叶轮廓曲线上的点坐标,从而可以得到叶脉曲线和叶轮廓曲线,如图2所示。由图2可见,利用三次B样条方法拟合的曲线大多经过实测值,二者十分接近。因此,用三次B样条方法能够很好地描述出玉米叶片空间轮廓。

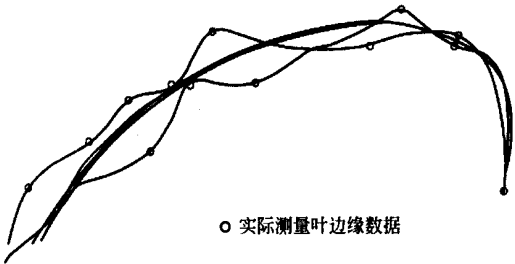


图 2 玉米叶脉与叶轮廓曲线图
Fig 2 Curves of maize leaf canopy and vein

2.2 叶曲面描述方法

利用三次B样条方法得到了叶片曲线轮廓图,为了获得真实感的三维图形,还要进行曲面重构,就是用获得的曲线拟合叶子曲面。目前曲面拟合方法主要有函数拟合方法,四边拟合和三角参数域拟合方法。其中三角域曲面拟合最为普遍,它可以处理各种复杂的曲面情况,简洁直观。三角域曲面拟合首先是将已有的曲线点进行三角剖分,整个空间曲面由剖分所得到的三角形组成。对于散乱点的三角剖分,目前比较成熟的剖分方法是 delaunay 方法,该方法生成的三角形具有唯一性^[10],利用该方法,根据叶脉和叶边缘的插值点依次构成三角形,生成的叶子曲面网格图(见图3)。



图 3 玉米曲面网格图
Fig 3 Grid map of curved plane of the maize leaf

2.3 玉米叶片三维形态的计算机重构

在微机上,采用VC++结合OpenGL开发出了玉米叶片虚拟重构的软件系统。OpenGL是近几年来发展起来的一个性能卓越的三维图形标准,它是以SGI公司的GL三维图形库为基础制定的一个通用共享的开放式三维图形标准,它提供了一系列的绘制三维图形的函数,可以绘制出各种复杂逼真的三维图形。通过VC++语言调用GL函数库,确定适当的光照模型,并进行几何变换,投影变换,剪切变换,视口变换,在微机上

实现了玉米叶片的虚拟重构,并且可以从不同方向和角度对玉米叶片进行观察。图4为利用该系统重构出的玉米叶片不同视角的图形。

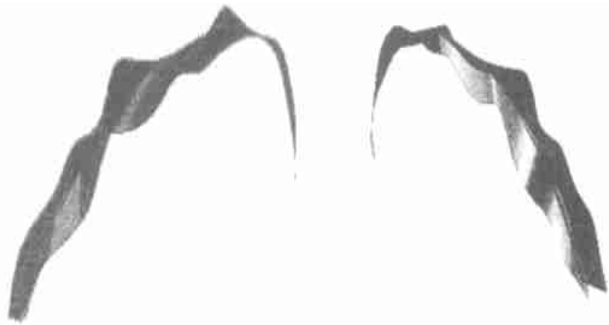


图 4 不同视角玉米叶片三维效果图
Fig 4 3D map of the maize leaf at different view angles

3 基于玉米几何构型的应用计算

构造出精确的玉米叶片几何模型后,就可以用来分析叶片空间形态的定量特征。依据本研究建立的玉米叶片模型,可以进行以下相关计算。

3.1 叶片面积求解

通过玉米叶片的模型,可以求取玉米叶片面积。根据每个三角形的定点坐标求出各三角形曲面面积,任意一个三角面片面积计算公式如式(5)

$$S_i = |(BA \times CA)|/2$$

(5)

BA, CA 分别为三角形的两条边向量,分别如下所示

$$BA = (x_2 - x_1)i + (y_2 - y_1)j + (z_2 - z_1)k$$

(6)

$$CA = (x_3 - x_1)i + (y_3 - y_1)j + (z_3 - z_1)k$$

(7)

所有三角形面片面积累加就可以得到玉米叶片的叶面积。

$$S = \sum S_i$$

(8)

计算得到的玉米叶面积与通过仪器测量(美国产CF203型植物叶面积仪)所得面积的相对误差不超过2%,表明通过以上方法重构出的玉米叶片三维形态模型具有较高的精度,完全满足相关科学研究的需要。

3.2 叶片投影面积求解

叶片投影面积在研究冠层的截光性等方面有较多应用。玉米叶片投影面积是求解组成玉米叶片的三角形的有效投影面积,首先求出对截光性有作用的三角形,然后求解这些有效三角形的投影面积,累加就可以得到玉米叶片的投影面积。

4 结 论

本文应用三次B样条方法拟合出了玉米叶片的三维形态轮廓,结合三角形曲面拟合,构造出了描述玉米叶片几何构型的数学模型,具有较高的拟合精度,并在计算机上实现了虚拟显示,真实感强,表明三次B样条方法适合于玉米叶片的几何造型。对于禾本科作物而言,其地上部形态特征主要是由呈垂直状态的茎秆以及

与茎秆形成各种角度和方向的叶片所决定的。因此,叶片的几何造型是作物个体几何造型的关键。在叶片虚拟出来后,根据拓扑结构信息精确再现整株的形态结构,实现个体乃至群体的可视化将是下一步研究的方向。

[参 考 文 献]

[1] 郭 焱,李保国 虚拟植物的研究进展[J] 科学通报, 2001, 46(4): 273- 280

[2] 胡包钢,赵 星,严红平,等. 植物生长建模与可视化—回顾与展望[J] 自动化学报, 2001, 26(6): 816- 835

[3] 王文海 三维几何造型的理论与技术[J] 计算机辅助工程, 1994, 2: 21- 30

[4] 展志刚,王一鸣,Philippe de Reffye, 等. 冬小麦植株生长的形态构造模型研究[J] 农业工程学报, 2001, 17(5): 6-

10

[5] 赵 星,Philippe de Reffye,熊范伦,等. 虚拟植物生长的双尺度自动机模型[J] 计算机学报, 2001, 24(6): 608- 615

[6] 章家恩,黄 润,刘楚生,等. 玉米株叶形态结构的可视化模拟初步研究[J] 华南农业大学学报, 2001, 22(4): 5- 7

[7] Stewarte D W. Mathematical characterization of maize canopies[J] Agric For Meteorol, 1993, 66: 247- 265

[8] 郭 焱,李保国 玉米冠层的数学描述与三维重建研究[J] 应用生态学报, 1999, 10(1): 39- 41

[9] 沈永欢,梁在中,许履瑚,等. 实用数学手册[M] 北京: 科学出版社, 2002, 706- 708

[10] 丁永祥,夏巨谟,王 英,等. 任意多边形的Delaunay 三角剖分[J] 计算机学报 1994, 17(4): 270- 275

Geometry modeling of the maize leaf canopy

Zheng W engang, Guo Xinyu, Zhao Chunjiang, W ang J ihua

(N ational Engineering Research Center for Infom ation Technology in A griculture, B eijing 100089, China)

Abstract To model the geometry of individual plant or organ, B-splines were used to simulate maize leaf and compute the leaf characteristics of geometry with virtualmodel The method needs less parameters and achieves higher precision than other methods, and is a good way for geometry modeling in maize leaf

Key words: maize leaf; geometry modeling; B-splines; 3D visualization