

小麦麦穗几何模型构建与可视化

雷晓俊, 汤 亮, 张永会, 姜海燕, 曹卫星, 朱 艳^{*}

(南京农业大学/国家信息农业工程技术中心, 江苏省信息农业高新技术研究重点实验室, 南京 210095)

摘 要: 作物器官几何建模是虚拟作物研究的关键技术之一。通过对小麦穗形态结构的观测分析, 提出基于形态特征参数的麦穗几何模型及可视化实现方法。在已有麦穗形态模拟模型的基础上, 结合麦穗拓扑结构, 构建麦穗形态结构几何模型, 包括穗轴、小穗(外麸、麦芒、花药等)、麦穗穗形等子模型。其中, 穗轴节片使用底面为椭圆的圆柱体进行模拟, 节片交错叠加构成穗轴。基于外麸曲面半径变化曲线, 以三角面片构造近似半椭球体来模拟外麸; 基于麦芒曲线, 以三角面片重构横截面近似为等边三角形的麦芒; 用非统一有理 B 样条曲面模拟开花期小花顶端的花药; 采用分层模型控制麦穗穗形。然后根据麦穗拓扑结构组合以上各器官, 即可构建出麦穗几何模型。进一步结合颜色渲染、纹理映射、光照渲染等真实感显示技术, 基于 .Net 平台, 借助 CSOpenGL, 实现麦穗生长动态的可视化。结果表明, 重构出的麦穗具有一定的真实感, 能够用于不同品种、不同处理条件下麦穗生长动态的可视化表达。研究结果将有助于实现小麦植株生长动态的数字化、可视化。

关键词: 可视化, 模型, 作物, 穗形, 小麦

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.03.034

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-03-0179-06

雷晓俊, 汤 亮, 张永会, 等. 小麦麦穗形态几何模型构建与可视化[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 179—184.

Lei Xiaojun, Tang Liang, Zhang Yonghui, et al. Geometric model and visualization of wheat spike[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(3): 179—184. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

植物形态可视化是虚拟植物研究的关键技术之一, 它是指利用计算机图形学技术, 用三维图形直观地显示植物的生长与形态建成^[1]。近 20 年来, 国外在这方面进行了较多研究, 开发了许多虚拟植物软件, 建立了一些基本的植物器官图形库^[2-5], 诸如澳大利亚研制的基于 L 系统的 Virtual Plant 软件, 法国研制的 AMAP 系列软件等。但这些软件侧重于计算机图形学, 对植物学机制研究较少, 特别是对植物器官细节的研究较少。小麦作为重要的粮食作物之一, 其几何模型的构建与可视化研究得到了众多学者的关注^[6-10], 其中, 有关小麦麦穗形态的可视化模拟研究已有不少。Fournier 等基于 L 系统实现了麦穗可视化^[11]; 伍艳莲等构建了基于形态特征参数的小麦各器官几何模型, 以圆柱体、椭球体等基本几何图元实现了麦穗可视化^[12]; 郭新宇等使用偏圆柱体重构穗轴节片, 以二次曲面重构颖片和麸片, 实现了麦穗的参数

化建模; 但上述研究均没有很好地考虑麦穗的器官如外麸、麦芒等细节信息^[13]。李梅等提出了基于等高线的三维重建方法来实现麦芒的建模, 采用球面变形方程实现了麦粒以及内麸和外麸的建模, 但仅实现了麦穗中小花的可视化表达^[14]。总体来说, 以往研究缺乏对麦穗细节层面的几何建模, 没有体现出不同品种、不同处理条件下麦穗的形态差异, 并缺乏相关的麦穗可视化实现技术。

本文在课题组已有麦穗形态建成模拟模型^[15-16]的基础上, 结合麦穗拓扑结构, 构建麦穗三维形态几何模型; 进一步结合颜色渲染、纹理映射、光照渲染等真实感显示技术, 基于 .Net 平台, 借助 CSOpenGL, 实现不同生长条件下麦穗生长过程的可视化表达, 为小麦植株生长过程的数字化可视化奠定基础。

1 麦穗的拓扑结构

小麦的穗为复穗状花序, 由穗轴和小穗两部分组成(图 1)。其中, 穗轴由曲折排列的节片组成, 节片的长短因品种而异。小穗着生在穗轴节片上, 每个小穗由小穗轴、两枚护颖和数朵小花构成; 每朵小花有外麸和内麸各一枚, 有芒品种外麸顶端着生芒; 开花期, 花药着生于小花顶端。一个麦穗通常有十几至二十几个小穗, 排成两行, 其长宽、排列松紧程度因品种而异, 是构成不同穗形的基础; 穗轴顶端着生一个顶端小穗, 由穗轴延伸而成; 穗下部 1~2 个小穗常常为不结实小穗, 为退化小穗, 体积明显小于结实小穗^[17]。

收稿日期: 2010-11-16 修订日期: 2011-03-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(30800136, 30971697); 江苏省科技支撑项目(BE2009342)资助

作者简介: 雷晓俊(1986—), 男, 山西平遥人, 主要研究方向为作物系统模拟与可视化。南京 南京农业大学/国家信息农业工程技术中心, 江苏省信息农业高新技术研究重点实验室, 210095。Email: haimo_free@163.com

*通信作者: 朱 艳(1976—), 女, 江苏南通人, 博士, 教授。主要研究方向: 信息农业。南京 南京农业大学/国家信息农业工程技术中心, 江苏省信息农业高新技术研究重点实验室, 210095。Email: yanzhu@njau.edu.cn

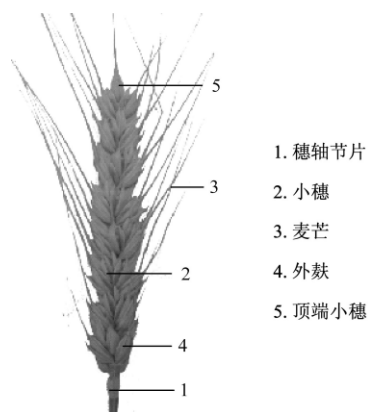


图 1 麦穗结构示意图
Fig.1 Schematic diagram of wheat spike structure

2 麦穗几何模型的构建

2.1 穗轴

穗轴由曲折排列的节片组成(图 2a)。节片采用底面为椭圆的圆柱体进行模拟^[13], 节片沿穗轴方向交替向外侧倾斜以模拟其曲折排列形态, 节片底部直径略小于顶部直径, 以达到相邻节片的无缝连接; 节片叠加连接构成穗轴(图 3a)。描述穗轴的形态特征参数有: 穗轴长度、穗轴节片数、穗轴节片直径。其中, 穗轴长度由麦穗形态模拟模型^[15-16]提供; 穗轴节片数和节片直径为品种参数。另外, 穗轴的描述还涉及到节片长度, 本研究假设各节片长度相等, 则节片长度可以通过穗轴长度/穗轴节片数计算得到。

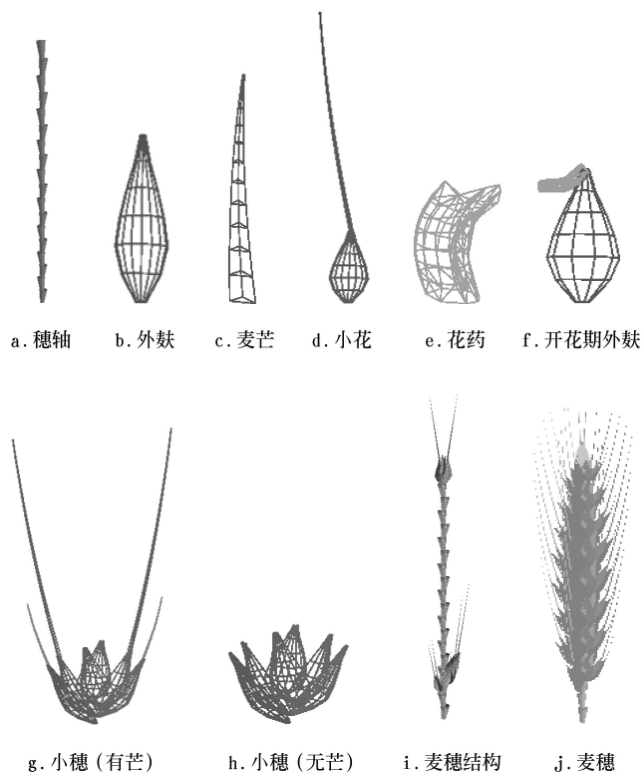


图 2 麦穗可视化效果图
Fig.2 Visualization of wheat spike

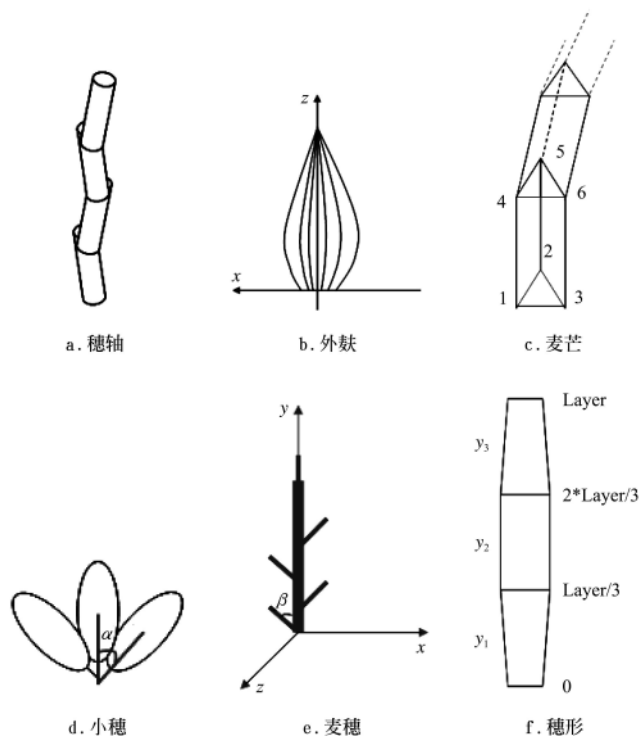


图 3 麦穗建模过程示意图
Fig.3 Sketch of geometric model of wheat spike

2.2 小穗

由于小穗结构复杂, 研究中对部分器官的几何模型进行了简化。其中, 小穗轴由于短小且隐藏在小穗内部, 难以被观察到, 因此忽略了对它的建模; 小花上仅考虑了对外形形态影响显著的外麸、麦芒和花药, 而忽略了内麸的建模。外麸以近似半椭球体进行模拟, 麦芒以横切面为等边三角形的三角面片进行构造, 花药采用非统一有理 B 样条 (non-uniform rational b-splines, NURBS) 曲面建模; 护颖与小花外麸在外形上较为相似, 其模拟与外麸相同; 最后以护颖和小花为基本单位, 经平移、旋转等操作组合成小穗。

2.2.1 外麸与护颖

外麸几何模型由穗宽、穗厚、外麸长度、外麸最大直径等形态特征参数进行描述, 穗宽和穗厚由麦穗形态模型^[15-16]提供, 外麸长度和最大直径为品种参数。护颖与外麸形态结构相似, 其模拟与外麸相同。

外麸采用近似半椭球体进行模拟, 设外麸横切面为半圆形, 平行于 XOY 平面; 纵切面位于 XOZ 平面, 底端直径较大, 顶端呈尖状, 最大半径约位于外麸的 $1/3$ 处(图 3b)。对不同小麦品种外麸直径和长度进行归一化处理后发现, 外麸归一化直径随归一化长度的变化在不同品种间差异不明显(图 4), 外麸曲面控制点可用式(1)计算得到。

$$\begin{cases} V_i.x = -l \times \cos(\theta) \\ V_i.y = l \times \sin(\theta) \\ V_i.z = z / (dz - 1) \times B_L \end{cases} \quad (1)$$

式中, V_i 为当前控制点; $V_i.x$ 、 $V_i.y$ 、 $V_i.z$ 为控制点坐标, cm; l 为当前控制点处的横切面半径, cm, 由式(2)计

算得到； θ 为当前控制点与 XOZ 平面的夹角，°； dz 为外麸曲面 Z 方向控制点数量； z 为当前控制点在 Z 方向的序号； B_L 为外麸长度，cm。

$$l = (a \times L^3 + b \times L^2 + c \times L + d) \times B_R \quad (2)$$

式中， a 、 b 、 c 、 d 为外麸纵向曲线参数； L 为当前控制点 z 坐标与外麸长度的比值； B_R 为外麸最大直径，cm。为正确应用纹理渲染，需计算外麸曲面控制点的纹理坐标，见式 (3)。

$$\begin{cases} V_i.u = U_i / (dx-1) \times (x+dx/2) \\ V_i.v = V_i / (dz-1) \times z \end{cases} \quad (3)$$

式中， $V_i.u$ 、 $V_i.v$ 为外麸曲面控制点 U 方向与 V 方向的纹理坐标； U_i 、 V_i 为外麸 U 方向与 V 方向的最大纹理坐标，默认取值为 1，决定外麸纹理贴图方式； dx 、 dz 为外麸曲面 X 、 Z 方向控制点数量； x 、 z 为当前控制点在 X 、 Z 方向的序号。

至此，可计算得到外麸曲面各控制点坐标，然后以三角面片绘制外麸 (图 2b)。

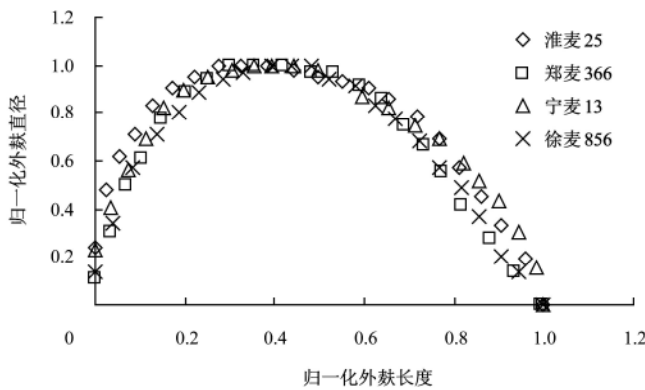


图 4 外麸纵向曲线

Fig.4 Vertical curves of outer bran in wheat

2.2.2 麦芒

小麦一般分为有芒和无芒 2 种，有芒品种外麸顶端着生芒，芒断面为锐角三角形。不同品种其麦芒形状、长短、芒色和分布表现不一。麦芒根部较粗，沿麦芒方向逐渐变细，中间还有一定的弯曲度 (图 2c 为麦芒直径扩大 5 倍后的效果)。影响麦芒的形态特征参数有：麦芒长度，麦芒直径，麦芒曲线方程参数 a 、 b 、 c ；其中麦芒长度和直径由麦穗形态模拟模型^[15-16]提供，麦芒曲线方程参数均为品种参数。

麦芒直径从根部到顶部逐渐减小，可定量描述为

$$A_{RL} = \frac{A_L - L}{A_L} \times A_R \quad (4)$$

式中， L 为当前长度，cm； A_{RL} 为当前长度处的麦芒直径，cm； A_L 为麦芒长度，cm； A_R 为麦芒直径，cm。

麦芒中间有一定的弯曲度，通过测量不同品种麦芒从底部到顶部的连续点坐标，并将其归一化处理后发现，麦芒曲线在不同品种间差异显著，可以用二次曲线方程进行描述 (图 5)。

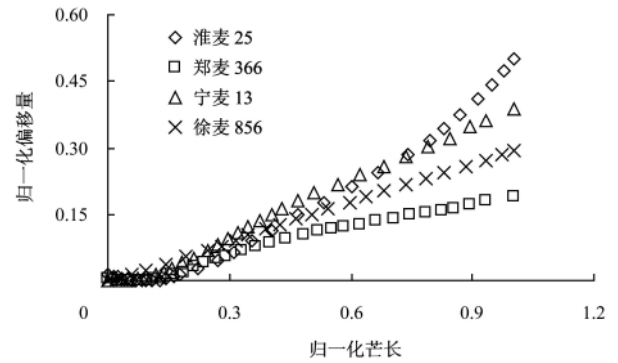


图 5 不同品种麦芒曲线

Fig.5 Awn curves of different wheat varieties

麦芒采用分格化曲面进行构造，横截面用等边三角形近似模拟。实际绘制时，沿麦芒方向将麦芒分为 N 层 (图 3c)，首先由麦芒曲线方程计算每层中心点坐标

$$\begin{cases} MV_L.x = (a \times L^2 + b \times L + c) \times A_L \\ MV_L.y = 0 \\ MV_L.z = \sqrt{(L \times A_L)^2 - MV_L.x^2} \end{cases} \quad (5)$$

式中， MV_L 为当前层的中心点； x 、 y 、 z 为该点的 X 、 Y 、 Z 坐标，cm； a 、 b 、 c 为麦芒曲线参数； L 为当前长度与总长度的比值。

然后以中心点坐标为基础分别计算得出当前层横截面等边三角形各顶点坐标；为应用纹理映射、光照渲染等真实感显示技术，计算控制点时还必须同时计算各项点处的纹理坐标以及法向量；最后以三角面片绘制麦芒。

有芒品种麦芒着生于外麸顶端 (图 2d)。外麸与麦芒的绘制采用了相同的局部坐标系，故外麸与麦芒的连接可通过 OpenGL 提供的 $glTranslatef(0, 0, B_L)$ 函数来完成，其中 B_L 为外麸长度 (cm)。

2.2.3 花药

花药由形态特征参数花药长度和直径进行描述，采用 NURBS 曲面构造^[18]，基本造型为中间弯曲的圆柱体，顶端呈花瓣状边缘 (图 2e)。花药着生于小花顶端 (图 2f)，初期为黄绿色，授粉后呈白色，并随着生育进程逐渐脱落。

2.2.4 小穗的组合

一个小穗上通常分化出 6~9 朵小花，能发育形成籽粒的仅有 2~5 朵 (图 2g、2h)。小穗基部两个对称的护颖外形与外麸相似，仅芒较短，以外麸近似模拟。

以小花为基本组成图元，依据小穗拓扑结构，经旋转、平移等操作，构建小穗几何模型 (图 3d)。小花夹角 α 由穗宽与外麸长度依式确定

$$\alpha = A \sin\left(\frac{S_W}{2 \times B_L}\right) \quad (6)$$

式中 S_W 为穗宽，cm，由麦穗形态模型^[15-16]提供。

2.3 麦穗的组合与穗形控制

小麦的穗为复穗状花序，每个小穗着生在各自穗轴节片上方，排成相对两行 (图 2i)。着生于穗轴节片的小穗与穗轴节片间有一定的夹角 (图 3e)，可由穗厚与外麸长度计算得到。

$$\beta = A \sin\left(\frac{S_T}{2 \times B_L}\right) \quad (7)$$

式中 S_T 为麦穗厚度, cm, 由麦穗形态模型提供。顶端小穗的几何模型与普通小穗略有区别, 着生于穗轴顶端, 其着生方向与其他小穗的方向垂直。底端退化小穗以普通小穗模拟, 但体积较小。

麦穗的形状、长宽和小穗排列的松紧程度, 因品种而异, 可分为纺锤形、圆锥形、长方形、椭圆形及分枝形穗等。如宁麦 13、徐麦 856 以及淮麦 25 的麦穗均为纺锤形, 绵麦 48、云麦 53 等的麦穗为长方形。将麦穗形态分为 3 层模拟 (图 3f), 设参数 T 、 B 分别为麦穗顶部和底部的相对缩放比例, L 为穗轴节片数, 则穗轴每一层小穗的缩放比例为

$$y = \begin{cases} \frac{3(1-B)}{L} \times i + B & 0 \leq i < \frac{L}{3} \\ 1 & \frac{L}{3} \leq i < \frac{2L}{3} \\ \frac{3(T-1)}{L} \times i - \frac{3(T-1) \times (L-1)}{L} + T & \frac{2L}{3} \leq i < L \end{cases} \quad (8)$$

式中, i 为麦穗所在层数; y 为当前层麦穗缩放比例, %。组合不同的 T 、 B 特征参数, 可以模拟除分枝形穗外的所有穗形。如图 2j 所示, 即为淮麦 25 的麦穗可视化效果图。

3 麦穗真实感显示技术

应用颜色渲染、纹理映射以及光照渲染等真实感显示技术, 对麦穗的可视化进行了渲染。其中颜色渲染采用 OpenGL 提供的 $\text{glColor}(\text{TYPE } r, \text{TYPE } g, \text{TYPE } b)$ 函数来设置麦穗的颜色, 其颜色参数 r 、 g 、 b 由小麦形态模型中的颜色子模型^[19]提供 (图 6)。



图 6 麦穗颜色渲染效果图

Fig.6 Visualization of wheat spike with color rendering

纹理映射能真实模拟麦穗表面的细节。首先通过收集不同品种、栽培措施、水分、氮肥、土壤、虫害、草害、种植密度等条件下的麦穗纹理照片, 建立麦穗纹理库。其次, 建立器官空间坐标 (x, y, z) 与纹理坐标 (u, v) 之间的对应关系: 穗轴和花药因分别采用偏圆柱体和 NURBS 曲面进行模拟, 可由 OpenGL 自动生成纹理坐标; 小花外颖、麦芒等由三角形面片构造的曲面, 均在计算曲面顶点时手动计算纹理坐标。纹理坐标确定后, 即可通过 OpenGL 提供的 $\text{glBindTexture}()$ 、 $\text{glTexParameter}()$ 、

$\text{glTexEnv}()$ 、 $\text{glTexCoord}()$ 等函数进行纹理绑定与映射 (图 7)。

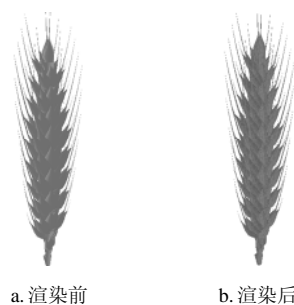


图 7 麦穗纹理映射效果图

Fig.7 Visualization of wheat spike with texture rendering

光照渲染能极大的增强图形的立体感, 本文采用 OpenGL 提供的光照模型, 通过调用 $\text{glLightfv}()$ 、 $\text{glMaterialf}()$ 、 $\text{glColorMaterial}()$ 等函数设定光源参数及器官表面的材料属性实现了麦穗的光照渲染 (图 8)。

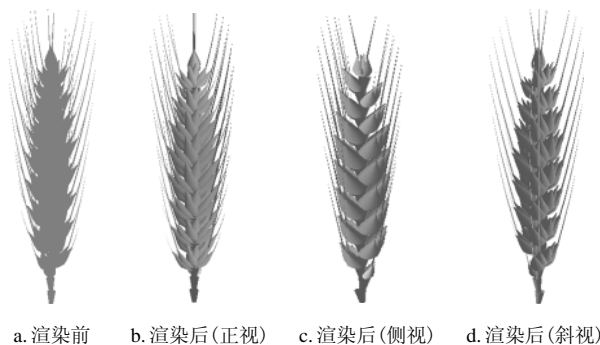


图 8 麦穗光照渲染效果图

Fig.8 Visualization of wheat spike with light rendering

4 应用实例

4.1 试验设计

于 2009—2010 年度在南京农业大学的牌楼试验站进行, 供试品种为淮麦 25 和扬麦 18, 设正常水分和渍水两个水分处理, 3 次重复。

4.2 麦穗生长过程的可视化

麦穗的动态生长需要其逐日形态特征数据的支持, 包括穗长、穗宽、穗厚、穗轴长度、穗轴直径、外颖长度、外颖直径、麦芒长度、麦芒直径、麦穗颜色或纹理图片等。形态特征数据可以来自以下两个方面:

1) 大田试验实际测量值。待麦穗抽出后, 定期测量麦穗各形态特征参数, 并插值生成麦穗整个生育期内的逐日形态特征参数。

2) 小麦形态模型输出值。通过输入品种特征、气象资料、土壤特性以及管理措施, 形态模型可以输出整个生育期内的麦穗逐日形态特征参数^[15-16]。

逐日形态特征参数的变化驱动小麦麦穗的生长, 进入开花期后, 麦穗上开始出现黄绿色小花, 待授粉后小花变为白色, 并随着生长进程逐渐脱落 (图 9)。麦穗的渲染可选择颜色渲染或纹理映射两种方式。麦穗颜色的获取相对比较容易, 但颜色渲染效果没有纹理映射逼真。

获取每个生育期内麦穗的纹理, 即可实现麦穗生长动态的纹理映射渲染。

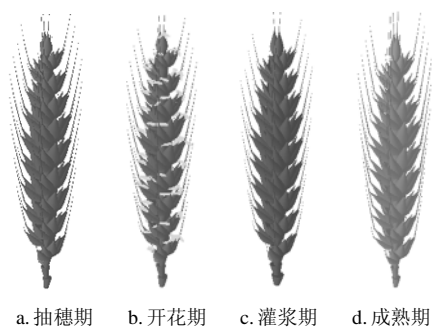


图9 麦穗生长动态效果图

Fig.9 Visualization of growth dynamic of wheat spike

4.3 不同品种、不同水分处理下麦穗形态差异

不同品种和水分处理条件下的麦穗, 其形态存在差异, 主要表现在穗长、穗宽、穗厚以及穗粒数等指标上。

淮麦 25 与扬麦 18 麦穗的最显著差异在于, 小麦穗的排列松散程度以及麦芒曲线, 表现为麦芒外扩角度不同。相同的穗轴节片数, 但扬麦 18 穗长明显大于淮麦 25, 导致小麦穗分布较松散 (图 10)。

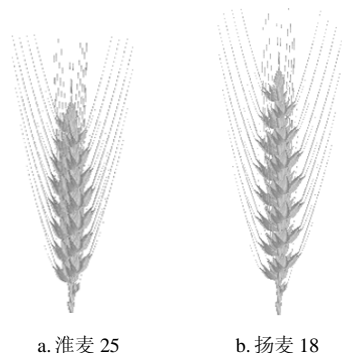


图 10 不同品种麦穗形态差异效果图

Fig.10 Visualization of wheat spike with different varieties

渍水处理与正常水分处理麦穗的最显著差别在于, 正常水分处理的麦穗较渍水处理的麦穗生育期较早。当正常水分处理的麦穗灌浆结束, 局部发黄时, 渍水处理的麦穗仍处于灌浆期, 并依然保持绿色。此外, 不同水分处理的麦穗形态存在差异; 相同的穗轴节片数, 正常水分处理的麦穗较长, 且因生育期较早, 麦芒较外扩 (图 11)。

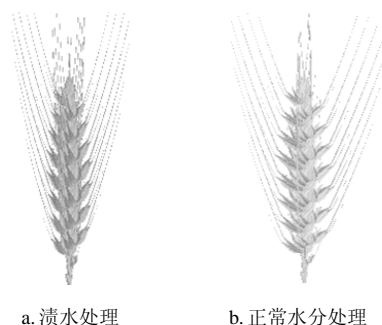


图 11 不同水分处理下的麦穗形态差异效果图 (淮麦 25)

Fig.11 Visualization of wheat spike under different water regimes (Huaimai 25)

5 结 论

本文通过对麦穗形态结构的观测分析, 构建了基于形态特征参数的麦穗形态几何模型; 进一步结合颜色渲染等真实感显示技术, 基于.Net 平台和 CSOpenGL 类库, 实现了麦穗生长动态的可视化。得到的主要结论如下:

1) 模型输入参数来源于已有的小麦形态模型或实测数据, 可以实现不同品种、不同条件下麦穗生长动态的模拟, 模型具有较好的扩展性和应用性。

2) 与已有可视化模型相比^[12-15], 本模型详细描述了花药、麦芒曲线、穗形等形态特征, 对麦穗细节层面的模拟更突出。

3) 本文研究结果将有助于实现小麦植株生长的可视化模拟, 为进一步构建数字化可视化小麦生长系统奠定了基础。

4) 在麦穗三维几何形态建模中, 仅考虑了正常麦穗、顶端小穗与底端退化小穗, 因此还不能较好的模拟局部麦穗的形态差异。颜色渲染虽然能逼真地显示小麦生长过程中麦穗颜色的总体变化过程, 但难以表现麦穗表面颜色的细节差异; 另外, 纹理映射需要获取不同时期的纹理照片, 且纹理照片表现出的颜色难以与麦穗颜色的变化过程相协调, 均有待今后进一步的研究。

[参 考 文 献]

- [1] 姜丽萍, 陈树人. 虚拟植物的研究进展[J]. 农机化研究, 2006(3): 4-6.
Jiang Liping, Chen Shuren. Research of Review Virtual Plant[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006(3): 4-6. (in Chinese with English abstract)
- [2] Boudon F, Prusinkiewicz P, Federl P, et al. Interactive design of bonsai tree models[J]. Computer Graphics Forum, 2003, 22(3): 591-599.
- [3] Deussen O, Colditz C, Stamminger M, et al. Interactive visualization of complex plant ecosystems[C]//Proceedings of IEEE Visualization Conference, 2002: 219-226.
- [4] Ijiri T, Owada S, Okabe M, et al. Floral diagrams and inflorescences: interactive flower modeling using botanical structural constraints[J]. ACM Transaction on Graph, 2005, 24(3): 720-726.
- [5] Lintermann B, Deussen O. Interactive modeling of plants[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 1999, 19(1): 56-65.
- [6] Fournier C, Andrieu B, Ljutovac S, et al. ADEL-Wheat: a 3D architectural model of wheat development[C]//International Symposium on Plant Growth Modeling, Simulation, Visualization and Their Applications, 2003: 54-63.
- [7] Franzke O, Deussen O. Accurate graphical representation of plant leaves[C]//International Symposium on Plant Growth Modeling, Simulation, Visualization And Their Applications, 2003.
- [8] 王美丽, 何东健. 基于 L 系统的小麦根系可视化模拟研究[J]. 农机化研究, 2008(3): 36-39.
Wang Meili, He Dongjian. Visualized simulation of wheat roots based on L-system[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008(3): 36-39. (in Chinese with English abstract)
- [9] 张吴平, 郭焱, 李保国. 小麦苗期根系三维生长动态模型

- 的建立与应用[J]. 中国农业科学, 2006, 39(11): 2261—2269.
- Zhang Wuping, Guo Yan, Li Baoguo. Development and application of three-dimensional growth model of root system in wheat seedling[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(11): 2261—2269. (in Chinese with English abstract)
- [10] 周国民, 丘耘, 曾枝连. 小麦生长模拟过程可视化软件的研究[J]. 农业网络信息, 2005(8): 10—12.
- Zhou Guomin, Qiu Yun, Zeng Zhilian. Research of visual software on wheat growth simulation process[J]. Agricultural Network Information, 2005(8): 10—12. (in Chinese with English abstract)
- [11] Fournier C, Andrieu B, Ljutovac S. ADEL-Wheat: A tool for simulating the 3D architectural development of wheat[J]. 4th International Workshop on Functional-Structural Plant Models, 2004.
- [12] 伍艳莲, 曹卫星, 汤亮, 等. 基于 OpenGL 的小麦形态可视化技术[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 121—126.
- Wu Yanlian, Cao Weixing, Tang Liang, et al. OpenGL-based visual technology for wheat morphology[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(1): 121—126. (in Chinese with English abstract)
- [13] 孟军, 郭新宇, 赵春江. 小麦地上部器官几何造型与可视化研究[J]. 麦类作物学报, 2009, 29(1): 106—109.
- Meng Jun, Guo Xinyu, Zhao Chunjiang. Geometry modeling and visualization of above-ground organs of wheat[J]. Journal of Triticeae Crops, 2009, 29(1): 106—109. (in Chinese with English abstract)
- [14] 李梅, 耿楠. 冬小麦麦穗小花的三维可视化建模方法的研究与实现[J]. 农机化研究, 2009(9): 35—38.
- Li Mei, Geng Nan. Modeling and visualization of winter wheat spikelet floret organs[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009(9): 35—38. (in Chinese with English abstract)
- [15] 陈国庆, 朱艳, 刘惠, 等. 基于形态模型的小麦器官和单株虚拟生长系统研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(3): 126—130.
- Chen Guoqing, Zhu Yan, Liu Hui, et al. Morphogenesis model-based virtual growth system for organs and plant of wheat[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(3): 126—130. (in Chinese with English abstract)
- [16] 谭子辉, 朱艳, 姚霞, 等. 冬小麦麦穗生长过程的模拟研究[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(4): 93—97.
- Tan Zihui, Zhu Yan, Yao Xia, et al. Modeling spike growth dynamics in winter wheat[J]. Journal of Triticeae Crops, 2006, 26(4): 93—97. (in Chinese with English abstract)
- [17] 崔金梅, 郭天财. 小麦的穗[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [18] 裴兴林. 组合曲面的 nurbs 插补技术的研究[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(1): 287—290.
- Pei Xinglin. Research on NURBS interpolation of combined surface[J]. Science Technology and Engineering, 2010, 10(1): 287—290. (in Chinese with English abstract)
- [19] 朱艳, 刘小军, 谭子辉, 等. 冬小麦叶色动态的量化研究[J]. 中国农业科学, 2008, 41(11): 3851—3857.
- Zhu Yan, Liu Xiaojun, Tan Zihui, et al. Quantitative study on leaf color dynamics of winter wheat[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(11): 3851—3857. (in Chinese with English abstract)

Geometric model and visualization of wheat spike

Lei Xiaojun, Tang Liang, Zhang Yonghui, Jiang Haiyan, Cao Weixing, Zhu Yan[※]

(National Engineering and Technology Center for Information Agriculture/Jiangsu Key Laboratory for Information Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Crop organ morphological model is one of the key technologies of virtual crop. By observing and analyzing the morphological and topological structures of wheat spike, the morphological parameter-based 3D geometric model and visualization method were developed. Based on the existing morphological model of spike in wheat, the 3D morphological geometric model of wheat spike was constructed by integrating the topological structure of spike, including the submodels of ear axis, spikelet (including outer bran, awn and anther) and spike shape. The ear axis was constructed by connected proglottids which were represented by slant cylinder. Based on the surface vertical curve, the outer bran was simulated by approximate semiellipsoid with triangular faces. The awn, with transversal surface as nearly equilateral triangular, was constructed by triangular faces based on the curve of awn. The anther on the top of floret in flowering stage was simulated with NURBS surface. In addition, the spike shape was controlled by using hierarchical model. Then according to the topological structure, the above organ models were organized together to rebuild the whole 3D geometric model of wheat spike. By further integrating the rendering models of color, texture and light, the visualization of growth dynamic of wheat spike was realized based on the platform of Microsoft .Net and CSOpenGL graphic library. The reconstructed geometric model with three dimensions can simulate visualization of growth dynamic of wheat spike under different varieties and treatments. The result will be helpful to realizing the realistic simulation of wheat plant, and the digitalization and visualization of growth dynamic of wheat.

Key words: visualization, model, crops, spike shape, wheat

雷晓俊, 等. 小麦麦穗形态几何模型构建与可视化(图2、6~11)

Lei Xiaojun, et al. Geometric model and visualization of wheat spike (Figure 2, 6-11)

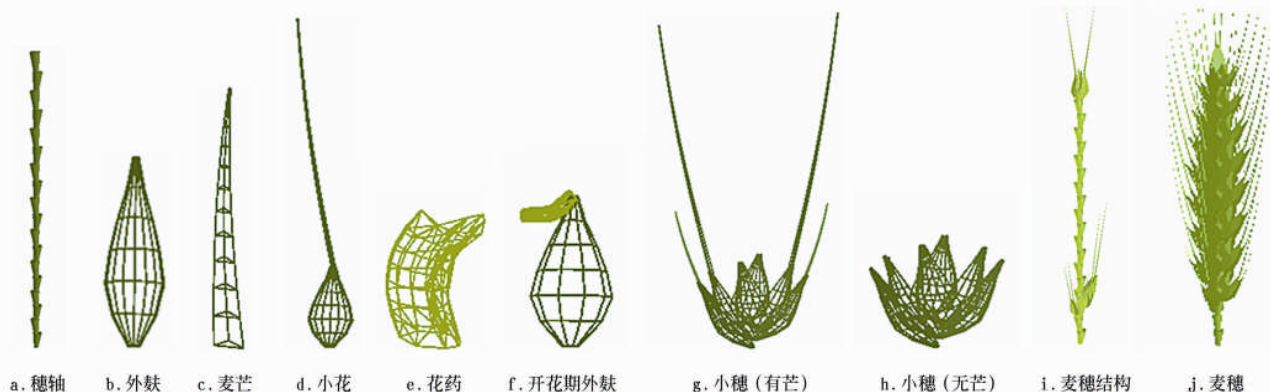


图2 麦穗可视化效果图

Fig.2 Visualization of wheat spike



图6 麦穗颜色渲染效果图

Fig.6 Visualization of wheat spike with color rendering



图7 麦穗纹理映射效果图

Fig.7 Visualization of wheat spike with texture rendering



图8 麦穗光照渲染效果图

Fig.8 Visualization of wheat spike with light rendering



图9 麦穗生长动态效果图

Fig.9 Visualization of growth dynamic of wheat spike



图10 不同品种麦穗形态差异效果图

Fig.10 Visualization of wheat spike with different varieties

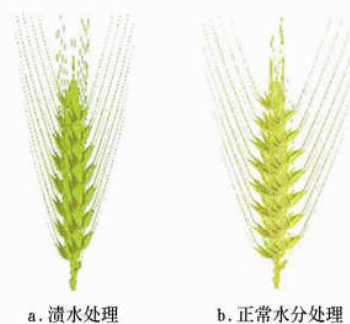


图11 不同水分处理下的麦穗形态差异效果图(淮麦25)

Fig.11 Visualization of wheat spike under different water regimes (Huaimai 25)