

荠菜根系的计算机模拟

刘 静, 戈振扬, 林文如, 寇光涛, 郭 浩

(昆明理工大学现代农业工程学院, 昆明 650224)

摘 要: 针对荠菜根系的形态特征和生长特点, 提出一种基于几何模型的荠菜根系三维建模方法: 根据荠菜根系的拓扑几何结构, 应用根系几何模型 SimRoot, 基于 Visual C++ 平台并采用 OpenGL 图形库, 建立能较真实再现荠菜根系动态生长过程的可视化模拟系统。模拟结果表明该方法是可行有效的。

关键词: 荠菜根系; 几何模型; 几何结构; 模拟

Computer Simulation of Shepherd's Purse Root System

LIU Jing, GE Zhen-yang, LIN Wen-ru, KOU Guang-tao, GUO Hao

(Faculty of Modern Agricultural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224)

【Abstract】 According to the morphological character and growth feature of shepherd's purse root system, a 3D modelling method based on the geometrical modelling is proposed. Topological and geometrical structure of shepherd's purse root system is employed. SimRoot, a geometrical modelling of root systems, is applied. Graphics library OpenGL on the Visual C++ platform is used to establish a visual simulation system which can vividly simulate the growing process of shepherd's purse root system. The simulation result shows that the proposed method is of validity and feasibility.

【Key words】 shepherd's purse root system; geometrical model; geometrical structure; simulation

1 概述

虚拟植物技术采用计算机模拟技术模拟植物在三维空间中的生长发育状况, 这是近年来随着信息技术的进步而迅速发展起来的研究领域, 是计算机图形学和农业信息技术的研究热点。由于植物根系生长环境的不可见性和复杂性, 很难对其进行直接的观察, 通过对植物根系进行定性观察和定量研究并借助于计算机图形学技术, 构建植物根系生长动态的三维显示模型在农业科研、教学等领域具有重要意义。

荠菜(*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medic.)具有很高的营养价值和药用价值^[1]。荠菜的生物学特性: 属十字花科, 为一年生或二年生草本作物, 一般情况下, 植株的高度与其根的伸展度差不多。荠菜根白色, 直根系, 须根不发达, 深18 cm~35 cm。茎直立, 绿色, 单一或下部分枝, 具有白色单一或叉状分枝的细绒毛; 叶莲座状丛生, 有柄, 平铺地面; 叶片羽状分裂, 两侧之裂片成不规则的粗齿状, 顶端的裂片呈三角形或卵状披针形; 茎叶互生呈宽披针或披针形, 长1 cm~2 cm, 宽约2 mm, 边缘有不规则的缺刻或锯齿, 基部抱茎而两侧呈耳状, 两面有单毛和叉状毛。花呈白色, 总状花序顶生及腋生, 萼片4个; 花瓣卵形4片, 较萼片稍长, 基部渐窄而呈短爪状, 十字花冠; 雄蕊6个, 4长2短, 短蕊基部各有2个腺体。短角果呈倒三角形或倒心形, 扁平, 先端微凹, 成熟时由下而上开裂, 有极短的宿存花柱; 种子2列, 细长椭圆形, 略扁, 淡褐色, 长(0.8~1.0) mm, 宽(0.4~0.5) mm, 千粒重0.09 g。

目前, 国内外关于荠菜的地上部分研究较多, 但对于地下部分生长的特点与规律研究却相对较少。因此, 建立起一个能描述荠菜根系形态-分布及生长变化的模拟模型, 进而定量地研究和认识荠菜根系的形态-分布特性及变化规律, 对于

提高荠菜的开发利用有着重要的指导意义。

2 荠菜根系的三维实体建模

2.1 荠菜根系的形态特征及生长特点

根系构型是指同一根系中不同类型的根在生长介质中的分布, 包括平面几何构型和三维立体构型^[2]。平面几何构型为根系中不同类型的根在同一平面上的分布, 包括鲃骨型、二分枝型和分枝鲃骨型, 其平面几何构型如图1所示。

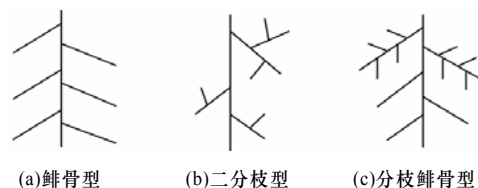


图1 根系的几种平面几何构型

平面构型是立体构型的基础。荠菜根系属于直根系, 根据直根系的形态特征和生长特点^[3], 其结构有明显的主根(main root)和侧根(lateral root)区别。根之间的发育、生理、形态各不相同。对于荠菜根系, 主根是根系固定支撑作用的主体, 主根仅有一条, 主要进行地向延伸, 生长至一定的长度时, 会间隔性地每次分生出一条侧根, 侧根近似于主根, 同样进行二级侧根的分生, 从而形成范围宽广的地下根系网络。从荠菜根系的分根特点来看, 主根及侧根各自的分生能力较为一致, 同类型的每一级根的侧根发育基本以相似的比

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60971115, 60371047)

作者简介: 刘 静(1981—), 女, 硕士研究生, 主研方向: 虚拟植物模拟; 戈振扬, 教授、博士; 林文如、寇光涛、郭 浩, 硕士研究生

收稿日期: 2009-12-05

E-mail: ge.27@kmust.edu.cn

例(分根长度、分根角度等)分生,这就为采用几何构造模型描述荠菜根系的拓扑结构和几何结构提供了理论基础。

2.2 形态建模

植物根系图形的绘制过程可大致分为 2 个阶段:构造和渲染。“构造”是指对植物的拓扑结构以及几何形态结构进行描述^[4]。拓扑(topological)结构是植物建模中的最基本结构,代表了植物不同器官和组织间的物理连接,主要用于描述植物离散结构单元间的连接关系和分布状况;几何结构描述了植物整体结构以及各器官的三维几何信息,如各器官的尺寸、形状以及角度等。“渲染”是指利用计算机图形学技术,如光照、材质、投影、消隐、计算场景色等处理植物三维几何结构,生成形态逼真的植物根系图形。

2.3 荠菜根系的拓扑结构和几何结构描述

根据图 2(a),在描述根系的拓扑结构时,使用图论中一个倒向放置的轴向树(axial tree)来进行分析。它由根(tree root)、主干(main axis)及旁枝(lateral segment)组成,各部分带有标号,并且遵循一定的顺序。一个轴向树从根起始节点出发到每个终止节点均形成路径,在该路径中至少有一条后继边的节点称为内节点(internode);终止边称为顶端(apex);主干、旁枝依序分成 0 级、1 级、2 级等^[2]。如图 2(b)所示。

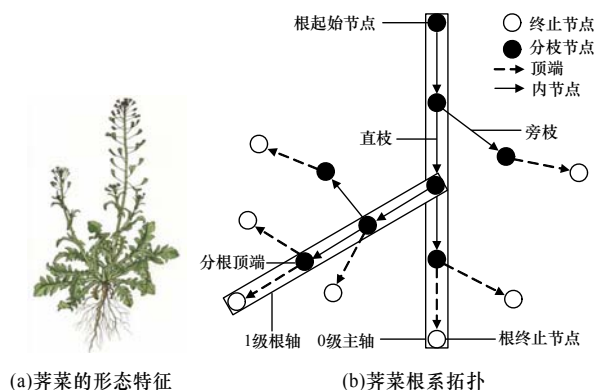


图 2 荠菜的形态特征和其根系拓扑

依照以上的拓扑结构模型结合荠菜根系的形态特征和生长特点,将荠菜根系设定为一组根轴,根轴由主根和无数个侧根组成,并具有一定的分根等级。每一级根的形成又遵循一个同样的方式:由主根分根出一级侧根,再由侧根分根出二级侧根,一级级不断分根衍生;荠菜根系形态的发生与发展就是按照其基本相似的根生长发育参数进行。因此,采用几何模型的方法描述荠菜根系的拓扑结构和几何结构比较理想。本文依据荠菜根系的生长特点,定义了 3 种类型的根,分别为主根、一级侧根、二级侧根。

基于上述形态特征和生长特点,用 11 个参数对拓扑结构和几何结构进行描述,分别为:根类型数量,根类型,一次最大分根数目,首次分根长度,分根长度间隔,首次分根时间,分根时间间隔,分根与主根的夹角,是否规则拓扑,长度生长参数,直径生长参数。

考虑到植物根系生长过程中会受向地性和随机性(土层中存在障碍物等土壤环境因素的作用)等因素的影响,其生长形态具有极大的不确定性和随机性。为了使模型更真实和具有代表性,在建立数学模型的过程中需要引入随机参数来表现植物根系的随机性。具体方法是:在绘制每一分根前,对分根的角度、长度、径向宽度等参数适当随机化,使分根出的根的分根数目、分根间隔、分根角度在某一限定的范围内

随机生成。因此,在上述的 11 个基本参数的基础上,需增加第 12 个参数,以对参数做随机处理。本研究通过将上述基本参数的实验数据统计均值后加上一个在上下限之间随机变动的参数予以实现。其中参数的范围由上下限定,准确度由均值确定。

2.4 荠菜根系的三维绘制

在荠菜根系的三维绘制上,为了实现所绘制的三维图形具有较好的可视化效果及交互性,基于 Visual C++环境采用 OpenGL 三维图形库进行开发实现。依据文献[5]提出的根系模拟平台 SimRoot,把每一级根看作一个单根轴。

每一个根轴被分成无数个段,每段看成一个圆台,每个段中和围绕段的方向矢量旋转相同的间距可以得到一系列的小三角形,每个段就用这些小三角形来逼近。为了逼真地表现根表面,还必须对这些连接在一起的小三角形进行平滑处理。最终绘制出具有较强真实感的各级根轴。

3 数据结构和算法实现

3.1 根的生长

为了体现动态生长效果,每一时间步长系统更新一次,同时每一根段在纵向和径向上都有增长。每一时间段产生的根增长量作为一个分开的根段,并将其几何拓扑信息储存。对于当前根系,用来完成长度增量操作的算法是把长度增量作为根系生长参数的一个函数来计算,然后动态分配内存存储新生长根段的几何拓扑信息,并增补它直到当前根的最后段。侧根的长度是根据根系生长函数来计算的,侧根的生长方向依据上级根的生长方向,并受到向地性和随机因子的影响而发生偏移。

3.2 根的分根

当允许根系分根时,分根过程将产生新的根轴,根轴的增加需要树状结构节点的增加来储存相关的信息。如上所述,分根几何图形的描述由 2 个角度控制。当产生一个新的分根时,分根路线连同指向上级根的指针、分枝类型、分枝角度、分枝长度等参数被命名。算法的最初几步是将包含在新节点中的指针初始化,这包括设置指针到父节点和初始化指针到子序列为空节点,新节点也与新创建的分支根的适当类型相一致。接下来,新根轴的信息被安置在数据区域,后者利用轴向分根角 β 和径向分根角 α 计算新根轴的分支方向,然后安置这一方向在新节点的正确区域,最后新节点被安置在父节点下子节点列中的合适位置。

3.3 根系几何参数的计算

总根长的计算公式为

$$L = \sum_{\text{roots}} \left(\sum_{\text{segments}} l \right)$$

根系的体积计算公式为

$$V = \sum_{\text{roots}} \left(\sum_{\text{segments}} \frac{1}{3} \pi (r_1^2 + r_2^2 + r_1 r_2) \right)$$

根系表面积计算公式为

$$S = \sum_{\text{roots}} \left(\sum_{\text{segments}} (r_1 + r_2) \sqrt{(r_1 - r_2)^2 + l^2} \right)$$

4 模拟系统的建立及模拟结果

4.1 模拟系统的建立

为了实现对荠菜根系生长的实时控制,并将控制的参数实时地保存起来,本文以 VC++6.0 为开发工具,通过递归的算法思想进行程序编制,建立了荠菜根系的计算机模拟系统。结果表明,该系统能够实时地模拟荠菜根系的动态生长和分布过程。

(下转第 270 页)