

# 基于地理信息系统的植物根系分析方法

郑纯辉<sup>1</sup>, 康跃虎<sup>1</sup>, 姚素梅<sup>1</sup>, 颜长珍<sup>2</sup>, 孙泽强<sup>1</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

**摘要:** 简便、快速、准确的根长测量和根系分级方法, 在不同灌溉方式对作物生长影响的对比研究等方面具有重要意义。该文提出了一种利用地理信息系统技术, 测量根长并对根系进行分级的方法。通过与目前常用的直接测量法、网格交叉法进行比较, 发现该方法测量精度高、速度快, 而且简单易用。

**关键词:** 地理信息系统; 根长测量; 根系分级

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)01-0181-03

## 0 引言

根系分析包括根长测量和根系分级等, 在不同灌溉方式对作物生长影响的对比研究等方面具有重要意义。目前常用的根长测量方法主要有直接测量法、网格交叉法、根长测定仪法和图像分析法等, 根系分级以人工量取根的直径为主。当根的形状规则且数量较少时直接测量法比较有效, 而当根较细、形状不规则且根量很大时则效率较低, 人为误差大。网格法在具有直接测量法不足的同时, 测量精度还受网格单位选择的限制。根长测定仪法虽然具有测量速度快的特点, 但其测量结果具有较大的波动性。目前国内市场上销售的根系分析图像软件, 都要借助于特殊的软硬件设备<sup>[1,2]</sup>, 价格昂贵。

随着微型计算机成本的降低和处理器速度的提高, 以前仅能在图形工作站上运行的地理信息系统 (Geographic Information System, 简称GIS) 软件, 目前大多能够在微型计算机上运行, 而且已经比较普及。

利用现有地理信息系统软件 (ARC/INFO), 作者提出了一种根长测量和根系分级方法, 利用扫描仪和微型计算机, 就能简便、快速、准确的进行根系分析。

## 1 主要设备

**硬件:** 计算机, 主频 100 Hz 以上, 内存 64 M 以上, 能够运行 ARC/INFO、PhotoShop 等软件; 扫描仪一台 (本研究使用紫光 C700); 15 cm × 25 cm × 2 cm 玻璃平盘一个。

**软件:** 操作系统, Windows NT/2000/XP; 图形处理, ARC/INFO 8.02; 图像处理, PhotoShop 6.0; 矢量化处理, R2V 5.5。

## 2 基本原理

地理信息系统融计算机图形学、地理科学、数据库科学、信息科学和管理科学于一体, 能够同时存储、分析和表达各种图形信息与属性信息。在GIS中, 图形数据通常以 (X, Y) 坐标链方式存储在图形文件系统中, 属性数据则以数据表形式存储在关系数据库中。GIS一般利用图形数据库与属性数据库中一个相同的ID (Identify) 字段将图形数据和属性数据联接起来, 从而实现从图形到属性和从属性到图形的双向查询、检索与互动等操作。

ARC/INFO 地理信息系统软件是美国环境系统研究所 (ESRI) 的著名产品, 该软件由描述图形特征和拓扑关系的ARC图形系统与记录属性数据的INFO数据库系统二部分组成。ARC/INFO软件能够自动计算其Coverage数据格式中线状对象的长度, 并将长度值存储在INFO数据表中。通过ARC/INFO软件的互动操作功能, 可以方便地从ARC图形系统中找到每一条线状对象在INFO数据表中对应的长度值<sup>[3]</sup>。

利用ARC/INFO软件对图形对象的长度、面积进行量算的前提是图形应具备一定的空间投影方式, 而根的扫描图像不具备任何投影方式。为了能够在不具备投影方式的条件下对根进行准确测量, 可将一个已准确测量出长度的线状物体 (直径不要太大) 作为参照对象和根一起扫描, 从而利用ARC/INFO软件同时获得根和参照对象在不具备投影方式条件下的相对长度, 最后计算出根的实际长度。因此, 只要将根的数字信息以要素形式输入到ARC/INFO软件的Coverage数据文件中, 就可以测量根长。

根系分级方法建立在根长测量方法基础之上。利用图像处理软件 (PhotoShop), 计算出根扫描图像中每条根的像素数, 进一步计算出每条根的面积<sup>[4-7]</sup>, 然后根据利用GIS法测量的根长, 计算出每条根的平均直径, 从而实现根系分级。

## 3 方法步骤

### 3.1 根长测定

#### 3.1.1 扫描

将待测根放在一个盛有少量水的长方形玻璃平盘

收稿日期: 2003-04-29 修订日期: 2003-08-26

基金项目: 国家杰出青年科学基金 (40125002); 国家自然科学基金 (40071020)

作者简介: 郑纯辉 (1972—), 男, 河南人, 博士生, 主要从事地理信息系统在节水农业中的应用研究。北京市朝阳区安定门外大街917大楼 中国科学院地理科学与资源研究所, 100101

通讯作者: 康跃虎, 研究员, 博士生导师, 地址同上。Email: Kangyh@igsnrr.ac.cn

(15 cm × 25 cm × 2 cm) 中, 用镊子小心地将根分开, 避免根重叠和堆积, 使根均匀散布于玻璃平盘中; 同时, 将一条已知长度, 硬度较强的线状物体作为参照对象和待测根一起放在玻璃平盘中。用扫描仪(紫光 C700)对载有待测根和参照对象的玻璃平盘进行扫描, 并处理成二值黑白图像。为了便于自动矢量化, 建议使用 100pixels/inch 分辨率。

3.1.2 图像处理与矢量化

在利用 ARC/NFO 测量根长时, 最终须使用矢量数据结构, 因此必须先对扫描所得的栅格图像进行矢量化。对于直径较粗的根, 在进行自动矢量化时, 可能会出现锯齿状线条, 从而导致根的测量长度比其实际长度大。为了提高精度, 需对较粗的栅格线条进行细化处理, 细化处理可用 ARC/NFO 软件 Grid 模块中的 Thin 命令实现<sup>[3]</sup>。使用 R2V 软件对经过细化处理的栅格图像进行自动矢量化, 并将矢量化后的图形存储为 Shapefile 格式<sup>[8]</sup>。

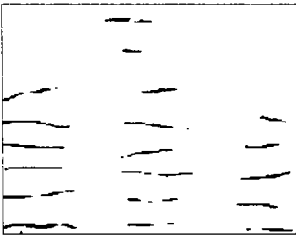


图 1 根扫描栅格图  
Fig 1 Screen picture for scanning image of roots

3.1.3 建立图形拓扑关系

虽然 Shapefile 格式能够被 ARC/NFO 软件直接处理, 但是该格式自身不具备存储图形拓扑关系的功能, 不能直接用来测量根长, 必须要将其转换成 Coverage 数据格式, 并建立拓扑关系。

利用 ARC/NFO 的 Command Tools 模块将 Shapefile 转换成 Coverage 格式, 并使用 Build 命令建立图形拓扑关系。经拓扑处理后, 在 Coverage 文件的 Info 表中, 每条记录都会由 ARC/NFO 系统自动增加一个 Length 字段<sup>[3]</sup>, 该字段值就是相对应的各条根和已知长度参照对象的相对长度。

3.1.4 计算根长

ARC/NFO 软件具有互动操作功能, 当在图形系统中选中一条根时, 和该对象相对应的属性记录就会在数据表窗口中高亮显示。利用该功能可查找到在扫描时放入的参照对象和各条根的 Length 字段值。由于参照对象的实际长度已知, 利用下面公式可计算出每条根的实际长度。

$$\text{根实际长度 } L = \frac{\text{根 Length 字段值}}{\text{参照对象 Length 字段值} \times \text{参照对象的实际长度}}$$

(1)

本试验中, 共对 20 条小麦根进行了测量, 但是从图 2 下方的属性数据表中可以看到, 在该表中有 29 条线对象。这主要是因为, 在对扫描图像进行自动矢量化处理时, 有些根的扫描图像可能会出现局部裂隙, 从而导致原来一条根在 ARC/NFO 软件中表现为两条或多条线对象。这种情况下计算相对根长时, 应将相对应的几条数据记录的 Length 字段值相加。

3.2 根系分级

根系分级方法的关键是利用图像处理软件 Photo-

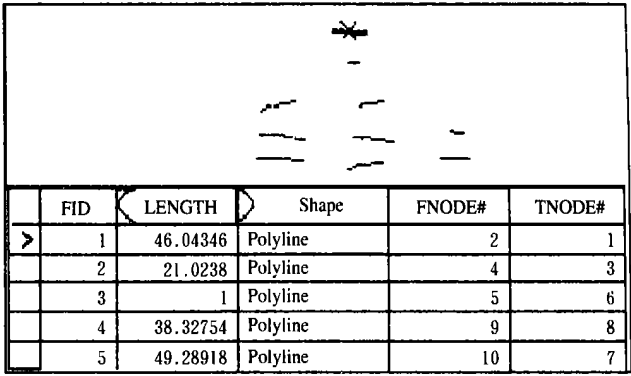


图 2 根图形对象与属性记录互动操作图  
Fig 2 Sketch of mutual manipulation between graphic and attribute objects

Shop 计算出根扫描图像中每条根的像素数, 进而算出每条根的面积。

首先, 在 3.1.1 步骤中, 将一个已知面积的面状对象作为参照对象和待测根一起放入玻璃平盘, 并扫描。

其次, 用图像处理软件 PhotoShop 对扫描所得的图像进行处理, 分别计算出扫描图中每条根与参照对象的像素数, 然后根据参照对象的实际面积, 利用下面公式求出每条根的面积。

$$\text{根面积} = \frac{\text{根样像素数}}{\text{参照对象像素数}} \times \text{参照对象实际面积}$$

(2)

最后, 根据已求出的每条根的面积和利用 GIS 法测量的每条根的长度, 计算每条根的平均直径(根面积/根长)。

4 测量实例及结果分析

试验利用直接测量法、网格交叉法、GIS 测量法, 在相同条件下, 分别对 20 条小麦根, 进行 20 次重复测量(一次测量 20 条)。

直接测量法: 把湿根放入盛有少量水的玻璃平盘中, 将标有毫米尺寸的方格纸放于玻璃平盘下面, 用镊子拉直根系, 直接读取根长; 网格交叉法: 采用一个用透明塑料或玻璃制成的尺寸为 30 cm × 40 cm 的平盘, 将方格纸放于平盘下面, 把湿根置于盛有少量水的平盘中, 用镊子或针把根拨到网格上, 避免使其彼此重叠, 最后记下根与网格垂直线和水平线的交叉点数<sup>[1]</sup>, 用下式计算

$$\text{根长} = (11/14) \times \text{交叉点数} \times \text{网格单位}$$

(3)

对测量结果进行相关分析得到: GIS 测量法与直接测量法测量结果的相关系数为 0.992157, GIS 测量法与网格交叉法测量结果的相关系数为 0.940829, 直接测量法与网格交叉法测量结果的相关系数为 0.954469, 每两种方法都表现出极显著的相关性, 表明采用 GIS 测量法测量根长是合适的。

网格交叉法由于需测量人员仔细计算根与网格垂直线和水平线的交叉点数, 工作量繁重, 受人为因素干扰大, 容易出错, 而且测量的准确性也受网格单位选择的限制, 测量结果的变异系数较大, 达到 2.3825%; GIS 测量法的全部过程均由软件自动完成, 受人为因素干扰

小, 变异系数仅为 1.0322%, 在图 3 中表现为使用 GIS 测量法得到的测量结果曲线波动最小; 直接测量法在测量形状规则的根时比较有效, 但对于形状不规则的根进行测量时则很不方便, 测量结果的变异系数居于 GIS 法和网格交叉法之间, 为 1.2166%。

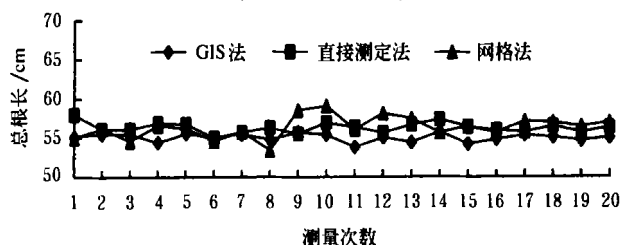


图 3 不同测量方法对同一样本测量结果的比较

Fig 3 Comparison among results from different methods in the same roots

从图 3 比较发现, 相对于直接测量法和网格交叉法, 采用 GIS 法得到的测量值稍稍偏短, 这主要是由于图像矢量化处理所造成的。湿根情况下, 可乘以校正系数 ( $r = 1.025$ ) 来提高测量精度。

实验对 4 条不同直径的小麦根分别进行了 20 次测量, 得出 4 条根 20 次重复测量的变异系数分别为 2.3819%、1.5435%、1.6369% 和 0.7768%, 测量结果波动较小(图 4)。该方法测量结果和根径手工直接测量结果的相关系数为 0.885107, 具有较高的相关性, 表明使用这种方法进行根系分级是可行的。由于扫描设备的限制, 该方法对一些特别大的根系不太适用。

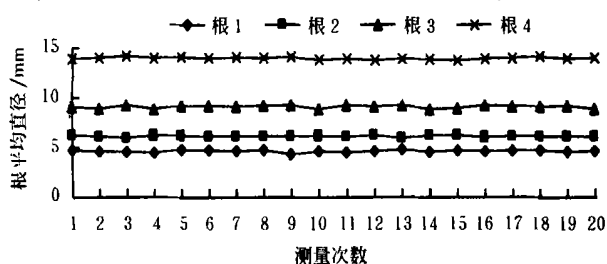


图 4 不同根径测量结果比较

Fig 4 Comparison among results from roots of different diameters

## 5 结 论

GIS 根长测量和根系分级方法建立在计算机图形图像处理基础之上, 具有严密的科学性。该方法利用现有数字图形图像设备, 使用地理信息技术, 为根系分析提供了一种新思路。概括起来, 利用地理信息技术进行根系分析具备以下几个特点:

- 1) 可以对多种作物根系进行测量, 不受根形状等因素的限制;
- 2) 全过程均为计算机自动处理, 人为因素干扰少, 精度高;
- 3) 测量速度快, 特别适用于大量根的批量处理。

## [参 考 文 献]

- [1] 郝仲勇, 杨培岭, 刘洪禄, 等. 苹果树根系分布特性的试验研究[J]. 中国农业大学学报, 1998, 3(6): 63-66
- [2] 澳大利亚 ICT 公司根系分析系统说明书 <http://www.ictchina.com>.
- [3] 房佩君. 地理信息系统 ARC/INFO 及其应用[M]. 上海: 上海同济大学出版社, 2000, 6
- [4] 杨劲峰, 陈清, 韩晓日, 等. 数字图像处理技术在蔬菜叶面积测量中的应用[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4): 155-158
- [5] 刘明池. 大白菜功能叶片面积测量方法[J]. 北京农业科学, 1995, (6): 43
- [6] 于新文, 沈佑锐. 昆虫数字图像的分割技术研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(3): 137-141
- [7] 应义斌, 饶秀勤, 赵匀, 等. 机器视觉技术在农产品品质自动识别中的应用[J]. 农业工程学报, 2000, 16(1): 103-107
- [8] 张恒敢, 杨四军, 顾克军, 等. 应用数字图像处理测定作物叶面积的简便方法[J]. 江苏农业科学, 2002, 3: 20-25
- [9] 田中实秋. 利用图像分析对根长的简易测定方法[Z]. 日本作物学会纪事, 1995, 64(1).
- [10] Raster2Vector 5.5 用户使用说明 <http://www.dns001.com/download/download.asp?id=553&downloadid=1>.

## Method of root analysis using GIS technology

Zheng Chunhui<sup>1</sup>, Kang Yuehu<sup>1</sup>, Yao Sumei<sup>1</sup>, Yan Changzhen<sup>2</sup>, Sun Zeqiang<sup>1</sup>

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract:** It is a very hard work to measure the length and diameter of roots in studies of physiology, genetic breeding, crop cultivation and so on. On the basis of analyzing the characteristics of roots, a method was developed for measurement of root length and diameter by applying geographic information techniques using personal computer and scanner. The result measured using this method was compared with that obtained using grid-counting method and direct measuring method. It was found that there were close relationships between GIS measuring method and the other traditional methods, and measurement precision was enough. The procedure is simple with quick measurement speed.

**Key words:** GIS; root measurement; root classification