

# 图像处理技术用于农机-土壤系统的研究\*

左春桢 马成林 陈江南  
(吉林工业大学)

**提 要** 提出一种用于分析土壤工作部件扰动土壤孔隙变化的图像处理方法。主要步骤为: 处理样品的制备; 图像获取和孔隙识别; 土壤孔隙形态学参数的计算。并给出一个用于研究鼠道犁扰动土壤的实例。结果表明图像处理技术用于研究农机-土壤系统是有效的。

**关键词** 图像处理 土壤工作部件 土壤孔隙

## The Study on the Soil-Tool System Using Image Processing Technique

Zuo Chun-cheng Ma Cheng-lin Cheng Jiang-nan  
(Jilin University of Technology, Changchun)

**Abstract** An image analysis method is proposed to describe the change of soil disturbed by soil working parts. Image processing has been performed in three stages: samples collection and preparation, image acquisition and recognition of soil porosity, calculation of soil morphology index. An example of this method is given for soil disturbed by a mole plough. Results show that this method can be used to study the soil-tool system.

**Key words** Image processing Soil working parts Soil porosity

## 1 引 言

把农业机械和土壤作为一个大系统来研究,不仅可以指导农业机械土壤工作部件的设计,而且对评价耕作土壤的性能具有十分重要的意义。长期以来,由于缺乏定量研究农机土壤工作部件影响土壤物理结构特性的方法,一般只测定土壤工作部件通过前后的土壤表观密度和土壤指数等的变化,来定性地评价农业机械和土壤作业系统。

法国农业科学院土壤所的 V. Hallaire (1994)<sup>[1]</sup>等人采用土壤断层图像处理分析技术研究非加工土壤的物理结构和排水特性,为评价土壤孔隙结构等物理特性提供了一种精确的定量分析技术。本文在 V. Hallaire 研究的基础上,采用土壤断层取样图像分析技术研究土壤工作部件通过土壤前后的土壤形态学参数的变化,为精密地研究农机-土壤系统提供了一种有效的方法。

收稿日期: 1997-07-31

\* 国家自然科学基金国际合作研究项目(59590131112)

左春桢,副教授,博士,长春市吉林工业大学农机工程学院,130025,现在法国 EN ESAD 从事博士后研究

## 2 研究方法

研究过程按照先后顺序分为三步: 土壤样品的制备; 获取图像和孔隙识别; 土壤形态学参数的计算。

### 2.1 土壤样品的制备

采用普通的圆柱筒式取样器分别提取农机土壤工作部件通过前后不同的对应位置的土壤作为待分析样品。样品首先在实验室用丙酮进行交换脱水, 然后浸入含有荧光粉(浓度为  $1 \text{ g/L}$ ) 的聚脂树脂(Scott Bader Crystic) 溶液中。在浸泡过程中, 土壤孔隙被树脂充满, 充满树脂的土壤样品切片后, 粘在待分析用的玻璃板上, 并进一步研磨, 直至待分析土壤样品的厚度达到  $30 \mu\text{m}$ 。

### 2.2 获取图像和孔隙识别

经上述处理后的土壤样品连同玻璃板一起放在紫外光下, 经 CCD 固态数字摄像机摄取土壤图像。由于在紫外线的灯光下, 充满荧光树脂的孔隙发亮, 而土壤固体块却发暗, 从而区分出是孔隙还是土壤骨架。对于每一个土壤样品切片, 可以选取不同比例的图像观测窗口。由于本研究土壤采样品为圆柱形, 切片后的土样为圆形, 其直径范围像素点为 480, 因此其分析域大约为 181 000 个像素。一般根据要检测土壤孔隙的大小, 选取图像分辨率和灰度值。本研究采用的图像灰度值为 256, 图像可被数字化成  $512 \times 512$  像素(即 262 144 个像素), 每个像素的分辨率  $35.68 \mu\text{m}$  (V. Hallaire<sup>(1)</sup> 采用的像素分辨率为  $200 \mu\text{m}$ )。通过设定每个像素是孔隙或土壤实体的阈值(0 或 1), 使图像灰度图变成二进制图像。但是由于区分孔隙或非孔隙的灰度值很弱, 根据简单的灰度阈值判断是否是孔隙仍很困难。为了检测出小孔隙, 本研究采用了数字化的局部阈值(参见文献[2])。图像的修剪和逻辑处理由计算机软件来实现<sup>(3)</sup>。

### 2.3 土壤孔隙的形态学参数计算

为了研究土壤微观结构的变化, 根据土壤孔隙轮廓结构图像(像素)的变化, 定义了三种土壤孔隙变化的形态学参数: 土壤孔隙等效直径  $D_{\text{eq}}$ 、土壤孔隙几何形状系数  $C_f$  和土壤孔隙方向角  $\theta$

$$D_{\text{eq}} = 2 \sqrt{S/\pi}$$

$$C_f = L^2/4\pi S$$

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \left[ \frac{2M_{\text{om}XY}}{M_{\text{om}X^2} - M_{\text{om}Y^2}} \right]$$

其中  $M_{\text{om}X^2} = \frac{1}{N} \sum (X_n - M_{\text{om}X})^2$

$$M_{\text{om}Y^2} = \frac{1}{N} \sum (Y_n - M_{\text{om}Y})^2$$

$$M_{\text{om}XY} = \frac{1}{N} \sum (X_n - M_{\text{om}X})(Y_n - M_{\text{om}Y})$$

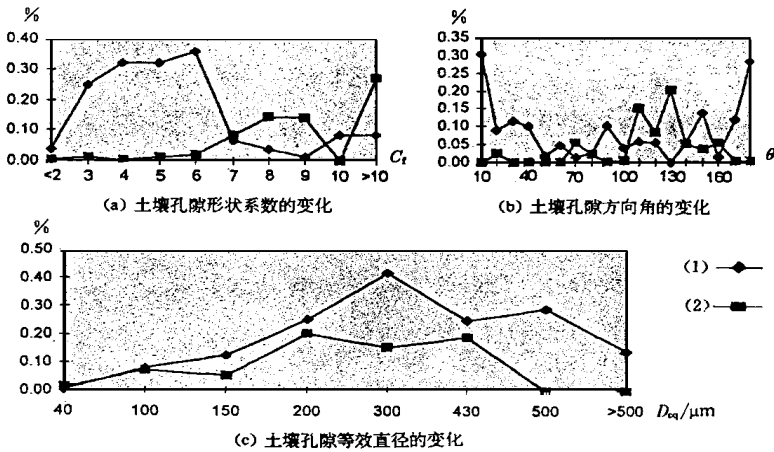
式中  $S$  —— 土壤孔隙的面积;  $L$  —— 土壤孔隙的周长;  $N$  —— 目标图像的像素的总数;  $X_n$ ,  $Y_n$  —— 是对应像素点的  $X$ 、 $Y$  轴坐标值;  $M_{\text{om}X}$ ,  $M_{\text{om}Y}$  —— 是对应像素点的一次矩或邻近目标像素土块的重心。

根据农业机械土壤工作部件经过前后土壤孔隙等效直径  $D_{eq}$  的分布及变化, 可判断出不同大小土壤孔隙是被压缩还是土壤松动; 根据土壤孔隙的几何形状系数  $C_f$  的变化, 可以判断出几种重要的土壤孔隙形状, 如  $C_f$  接近于 1 时, 它实际上是圆形孔隙; 当  $C_f$  大于 10 时, 为细长形孔隙, 或者可以看作是一条裂纹。上述孔隙方向角的公式代表了二进制图像上每一对应土块(如以鼠道犁前进方向为  $X$  轴的正方向, 非孔隙土壤可形成由不同孔隙分割成的小块, 沿  $X$  轴方向与对应孔隙最邻近的土块)主惯性轴的方向。它是图像中根据  $X$ 、 $Y$  轴坐标值计算出的二次惯性矩阵的最大特征值的特征向量。计算出的方向角  $\theta$  与  $X$  轴或  $Y$  轴夹角范围在  $-45^\circ$  与  $+45^\circ$  之间。为了统一到相对于  $X$  轴(即鼠道犁前进方向为  $0^\circ$ )的夹角, 使用  $X$  轴直径(Feret  $X$ ) 和  $Y$  轴直径(Feret  $Y$ )<sup>[1]</sup> 来进行转化:

如果  $Feret\ Y > Feret\ X$ , 那么  $\theta = -\theta$   
 否则,  $\theta = 90^\circ - \theta$

这样, 方向角的范围变为  $0^\circ \sim 180^\circ$ 。方向角的基本物理意义代表了孔隙的延长方向, 即土壤破坏的方向或土壤中水份流动的方向<sup>[1]</sup>。

此外, 根据图像识别和处理结果, 还可计算土壤孔隙度(假设每一平面层土壤是均匀的, 以二维  $X$ 、 $Y$  平面孔隙代替三维孔隙度), 即: 图像中孔隙的面积(以像素表示)除以处理图像的总面积(本研究为 781 000 个像素)。所有以上计算由 C 语言程序软件自动完成。



(1) 鼠道犁经过前 (2) 鼠道犁经过后  
 图1 鼠道犁经过前后土壤形态学参数的变化

### 3 示例分析

在法国 V illevieux 农场进行了鼠道犁试验研究, 先后曾试验过四种鼠道犁, 分别研究了鼠道犁经过前后鼠道拱顶、侧面和下部三个区域土壤孔隙形态学参数的变化情况, 并对不同鼠道犁工作部件、不同鼠道深度、不同前进速度等参数对三个区域土壤孔隙形态学参数的影响进行了研究。

这里仅给出一个例子, 说明图像处理技术在农机-土壤系统研究中的具体应用。被试土壤为粘性土壤, 粘土比例(土壤颗粒直径  $< 0.02\text{ mm}$ ) 占 54.1%, 鼠道深度为 550 mm, 鼠道

直径 100mm, 被试鼠道犁为传统圆柱体鼠道开沟部件(参见文献[4])。图 1 中为分别提取鼠道犁经过前后鼠道拱顶区域(距鼠道壁面 10mm 处)土样经图像处理 after 计算出的土壤孔隙形态学参数的变化情况。

从图 1 中土壤孔隙等效直径分布图可以看出, 小于 200  $\mu\text{m}$  的土壤孔隙在鼠道犁经过前后变化很小, 等效直径 300  $\mu\text{m}$  的土壤孔隙受到明显的压缩, 等效直径大于 500  $\mu\text{m}$  的土壤孔隙所占比例减小, 一些孔隙消失, 说明鼠道犁使土壤大孔隙消失; 从图中土壤孔隙形状系数分布图可以看出, 接近圆形的土壤孔隙消失, 这是由于土壤压缩使孔隙消失或是由于圆形孔隙变成矩形缝隙引起的。从图中土壤方向角的变化可以看出, 180°方向角在鼠道犁经过后消失, 说明是土壤压缩的方向; 相反, 130°方向的比例得到增加, 说明这是土壤松动的方向。

根据流体渗流力学理论, 当土壤中孔隙渗透压力为 0~ 40 kPa 时, 土壤孔隙等效直径大于 5  $\mu\text{m}$ 。本研究由于分辨率的限制无法识别出 5~ 35  $\mu\text{m}$  之间的土壤孔隙, 而这些小孔隙恰恰对鼠道排水非常重要。因此, 今后尚需随着科学技术的进步, 采用更高分辨率的图像处理技术, 对鼠道犁-土壤系统进行研究。

## 4 结 论

研究表明图像分析技术可用于研究农机-土壤工作部件对土壤孔隙改变的程度。但土壤孔隙的识别精度取决于图像获取系统的分辨率。此外, 土壤孔隙度形态学参数的定义和使用还有待于大量实践检验和不断完善。

## 参 考 文 献

- 1 Hallaire V. Description of microcrack orientation in a clayey soil using image analysis Proceedings of International Agricultural Mechanization Conference, 1994 549~ 557
- 2 Serra J. Image Analysis and Mathematical Morphology London: Academic Press, 1982 1~ 628
- 3 Noesis A Tutorial on Image Processing Velizy France, 1991. 1~ 192
- 4 陈江南, 左春桢, 张守勤 鼠道犁扰动土壤的研究 农业机械学报, 1996, 27(增刊): 170~ 173