

# 基于数字图像处理技术的风蚀地表颗粒提取

高君亮<sup>1,2</sup>, 高永<sup>2</sup>, 虞毅<sup>3</sup>, 李玉宝<sup>4</sup>, 王淮亮<sup>2</sup>

(1. 中国林业科学研究院 沙漠林业实验中心, 内蒙古 磴口 015200; 2. 内蒙古农业大学 生态环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 3. 国际竹藤网络中心, 北京 100102; 4. 温州大学 生命与环境学院, 浙江 温州 325027)

**摘要:** 地表粗沙粒残留量可以反映出土壤侵蚀量与抗侵蚀能力。基于数字图像处理技术对阴山北麓风蚀粗粒化地表的颗粒进行了提取研究。结果表明, 经过 ERDAS IMAGINE 9.0 软件处理后再提取的颗粒面积较 ArcGIS 9.2 软件下矢量化得到的颗粒面积小, 但是两者之间存在显著的线性关系, 可以利用该关系进行颗粒面积补偿。通过颗粒等效面积与等效周长求取的颗粒分形维数为 1.418 4, 颗粒分形维数反映的现地粗粒化状况与实际考察结果大体一致。表明采用图像处理软件可以对地表数字图像中的颗粒进行准确测量, 在省时省力的同时也提高了研究的精度。

**关键词:** 数字图像处理; 粗粒化; 颗粒提取; 分形维数

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2011)06-0139-04

中图分类号: S152.3, X825, X833

## Particles Extracted From Wind Erosion Surface Based on Digital Image Process Technology

GAO Jun-liang<sup>1,2</sup>, GAO Yong<sup>2</sup>, YU Yi<sup>3</sup>, LI Yu-bao<sup>4</sup>, WANG Huai-liang<sup>2</sup>

(1. *Experimental Center of Desert Forestry, Chinese Academy of Forestry, Dengkou, Inner Mongolia 15200, China*; 2. *College of Ecology and Environment Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China*; 3. *International Center for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China*; 4. *College of Life and Environmental Science, Wenzhou University, Wenzhou, Zhejiang 325027, China*)

**Abstract:** Soil erosion quantity and soil anti-erodibility can be reflected by the amount of surface residual particles with wind erosion. It is of great importance to precisely extract particles content on earth surface. Based on digital image processing technology, the extraction of soil particles on wind erosion surface in northern foot of Yinshan Mountain has been done. The result showed that the particles area processed by ERDAS IMAGINE 9.0 was smaller than that processed by ArcGIS 9.2, but there was a remarkable linear relation between them. We can use this relation to compensate particles deficiency area. The fractal dimension obtained by means of particles equivalent area and equivalent perimeter was 1.418 4. The soil particles condition reflected by this fractal dimension on research region was in accordance with that real condition. With image processing software, we can extract accurate surface particle information. It can provide a foundation for future desertification monitoring, also, it was greatly meaningful for us to swiftly and exactly evaluate the degree of soil wind-erosion and land desertification.

**Keywords:** digital image process; coarse graining; particles extraction; fractal dimension

中国是世界上受沙漠化危害最严重的国家之一。尽管目前沙漠化状况总体比 20 世纪 90 年代有了明显改善, 沙漠化整体扩展的趋势得到初步遏制, 但局部地区仍在扩展。

土壤是沙漠化发生发展的物质基础, 是风蚀沙化的直接作用对象。沙粒粒径组成是土壤的一个稳定

的自然属性, 是研究土壤风蚀必需的基本资料之一。前人的研究表明<sup>[1-7]</sup>, 风蚀造成沙粒粒径组成在空间上有很大的差异, 地表粗沙粒残留量可以反映出土壤侵蚀量与土壤抗侵蚀能力, 因此开展粗粒化地表颗粒提取的研究对监测土壤风蚀、土地沙化程度有重要意义。数字图像处理是将图像信号转换成数字信号并

收稿日期: 2010-12-28

修回日期: 2011-03-30

资助项目: 国际科技合作项目“用于沙漠化防治的耐旱植物生物技术开发研究”(2010DFA91930); 国家科技支撑项目“半干旱区受损生态系统恢复重建及资源持续利用技术研发与示范”(2011BAC07B02-03); 内蒙古农业大学科研创新团队项目(NDTD2010-11)

作者简介: 高君亮(1985—), 男(汉族), 甘肃省静宁县人, 硕士, 研究方向为荒漠化防治。E-mail: gaojunliang1985@163.com。

通信作者: 高永(1962—), 男(汉族), 内蒙古自治区达拉特旗人, 教授, 博士生导师, 主要从事荒漠化防治领域的研究与教学工作。E-mail: gaoyong315@yahoo.com.cn。

利用计算机对其进行处理。随着现代图像处理技术及计算机技术的飞速发展,数字图像处理技术已被广泛应用于各领域(如:医学、航空、航海、材料、无损检测、岩土工程、遥测技术、工业自动化检测、安全识别、娱乐等各大领域),并表现出其强大的优势。近年来,一些学者<sup>[8]</sup>运用图像处理技术对各类颗粒进行了提取及粒度划分。美国科研人员运用三波段的地面数值影像技术评价了 Mojave 沙漠的地表粗糙度和粗化过程,并取得了阶段性进展。王毅力等<sup>[9]</sup>通过图像处理技术研究了不同标度下底泥颗粒物的表面分形特征。于翔等人<sup>[10]</sup>利用 Adobe Photoshop 对悬沙颗粒图像进行了预处理,并提出了解决二值化后的颗粒图像容易产生边缘失真和边缘不闭合现象的方法。王绍怀等人<sup>[11]</sup>利用沥青混合料数字图像技术,计算了常见的 3 种石料 4 种沥青混合料级配分形维数,认为该方法可以定量描述集料颗粒级配组成的分形特性。黄碧霞和陆阳<sup>[12]</sup>对沥青混合料利用数字图像处理技术和筛分法进行了粒度分配后确定了两者的修订因子。丁秀丽等<sup>[13]</sup>采用数字图像处理技术,利用现场拍摄的土石混合体数码照片建立相应的数值模型,为土石混合体力学行为的颗粒流模拟提供了新的建模方法。但是,运用数字图像技术进行风蚀粗粒化地表颗粒提取的研究在国内尚无报道。因此,本研究在野外现场获取数字图像的基础上,在室内运用软件(ERDAS IMAGINE 9.0<sup>[14]</sup>和 ARCGIS 9.2<sup>[15]</sup>)对数字图像进行处理,提取了风蚀粗粒化地表颗粒并计算其分形维数,以期今后荒漠化监测提供一定的基础资料。

## 1 试验方法与数据获取

### 1.1 图像采集

本研究数字图像的采集使用机身为 Canon Eos5D-Mark II,镜头为 Canon EF24-105 mm f/4L ISUSM 的数码相机。相机分辨率为 5616×3744,有效像素为 21 026 304,镜头焦距 24~105 mm。

采集每张数字图像时先在选定的样地上放置用于比例转换的标尺框,以便得到粗粒化地表颗粒实际的几何尺寸,标尺框的大小为 330 mm×220 mm,即一个像素所代表的实际宽度  $\delta = 330 \times 220 / 5\ 616 \times 3\ 744 = 0.003\ 45\ \text{mm/pixel}$ 。然后架设相机,相机固定在碳纤维材质的三脚架上,镜头距地表 74 cm。调焦,使拍摄区域恰好是标尺框的大小,用遮光布遮蔽阳光,避免阳光直射而造成采集的数字图像有阴影,最后进行拍摄。

### 1.2 图像处理

(1) 数字图像格式转换。在 ERDAS 软件运行环境中,须将 JPEG 格式的图像转换为 IMG 格式(图 1a)才能进行下一步操作。

(2) 数字图像裁剪(subset)。将 330 mm×220 mm 的数字图像裁剪为 100 mm×100 mm 的数字图像,这样做的目的是为了将图像几何变形较大的边缘部分去掉。

(3) 数字图像色彩变换(RGB to IHS)。将图像从红(R)、绿(G)、蓝(B)3 种颜色组成的彩色空间转换到以亮度(I)、色度(H)、饱和度(S)作为定位参数的彩色空间(图 1b),以便使图像的颜色与人眼看到的更为接近<sup>[14]</sup>。

(4) 灰度信息统计。对步骤(3)中处理的数字图像运用 ERDAS IMAGINE 9.0 软件下的 Inquire Cursor 命令进行灰度信息统计分析。

(5) 空间建模。利用 ERDAS IMAGINE 9.0 软件提供的空间建模工具(Spatial Modeler)进行颗粒颜色分类处理,使图像中的颗粒各自孤立区分开来。

(6) 利用 ERDAS IMAGINE 9.0 软件提供的矢量化功能,将步骤(5)中已进行分类处理的栅格图像矢量化,获得矢量化的图像(图 1c)。图中每个多边形区域都是矢量的,可以对其面积、周长等特征进行量测和统计分析。

(7) 在 ArcGIS 9.2 软件环境下建立新的图层,并利用 ArcGIS 9.2 软件将栅格数据(JPEG 文件)矢量化,获得颗粒实际形状大小的多边形(图 1d),并提取多边形相关参数(如面积、周长),以便与步骤(6)矢量化处理得到的多边形进行面积、周长等特征的比较。

(8) 利用 ArcGIS 9.2 计算两种方法所得到代表颗粒的多边形面积和周长,并将计算结果导入 Excel 软件中。

经过上述步骤得到的是颗粒的投影面积,需要将其转换成等效直径,即与此不规则的颗粒具有相同面积圆的直径。以 ArcGIS 9.2 软件下矢量化得到的多边形面积为因变量,ERDAS IMAGINE 9.0 软件提取的多边形面积作为自变量进行线性相关分析。根据各个颗粒的面积与周长计算该图像范围内颗粒的分形维数。分形维数的计算采用公式<sup>[16-19]</sup>:

$$\lg P = \frac{D}{2} \lg A + C \quad (1)$$

式中: $D$ ——分形维数; $P$ ——多边形周长; $A$ ——多边形面积; $C$ ——常数。

通过公式(1)对多边形周长和面积的对数建立关系式,得到其关系式的斜率  $K$ ,则颗粒的分形维数  $D$  等于  $2K$ 。

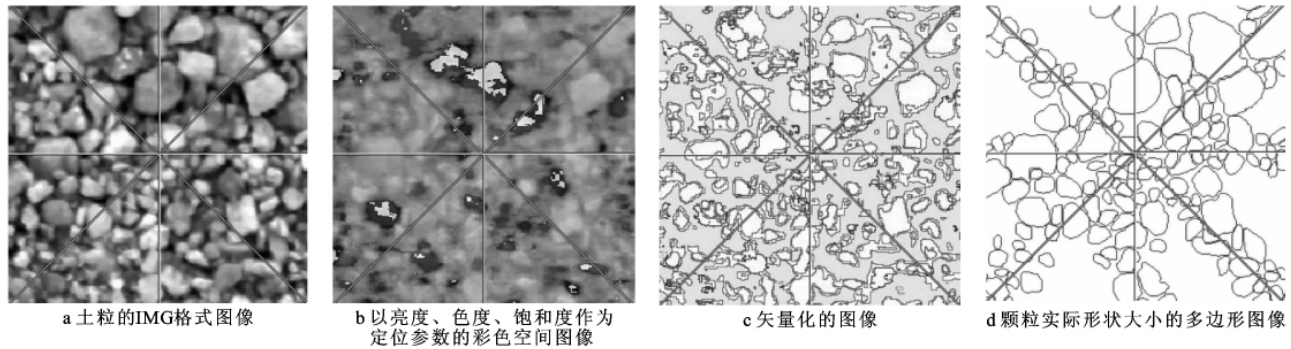


图 1 颗粒提取的数字图像处理过程

## 2 实例分析

试验中的数字图像采集于阴山北麓,该区受风蚀、放牧及旅游业的影响,地表为粗粒化相当严重的草地。

### 2.1 颗粒面积提取验证及颗粒面积补偿

研究结果表明,经过 ERDAS IMAGINE 9.0 软件处理后再提取的颗粒面积与 ArcGIS 9.2 软件下矢量化得到的颗粒面积之间存在一定的差距,总体上都是后者面积大于前者面积。这主要是因为,在图像分割处理过程中,要使连接在一起的颗粒单独分开,需要逐步加大分割阈值,在加大阈值的同时,一部分颗粒的边缘部分被去除了,所以导致了整个颗粒面积的减小。但进一步分析发现,两种方法得到的同一个颗粒面积之间存在着显著的线性关系:

$$A' = 1.3888A + 59.658, \quad R^2 = 0.8590$$

式中: $A'$ ——ArcGIS 9.2 软件下矢量化得到的颗粒面积(像素); $A$ ——ERDAS IMAGINE 9.0 软件处理后提取的颗粒面积(像素)。

因此,可以借助两者之间建立的线性方程来补偿颗粒损失的面积,这样就可以求出每个颗粒的真实面积。

### 2.2 数字图像处理精度验证

针对风蚀地表同一斑块分别采用了数字图像处理技术和传统的筛分法两种方法得到了两组 3 个粒级的( $>0.84$  mm,  $0.42 \sim 0.84$  mm,  $<0.42$  mm)土壤颗粒百分含量信息,通过分析两组数据之间的关系来进一步详细说明应用数字图像处理技术来提取风蚀地表土壤颗粒信息的准确性和实用性。其中,筛分法通过自制分层取土器采集地表 1 cm 的土样进行筛分。

研究表明,应用数字图像处理技术提取的 3 个粒级土壤颗粒百分含量与筛分法获取的 3 个粒级土壤颗粒百分含量之间均存在着较高的线性相关关系 [ $R^2_{(>0.84 \text{ mm})} = 0.9050$ ,  $R^2_{(0.42 \sim 0.84 \text{ mm})} = 0.7226$ ,  $R^2_{(<0.42 \text{ mm})} = 0.6544$ ],

因此,说明应用数字图像处理技术提取风蚀地表土壤颗粒信息和评价地表粗粒化程度是可行的。

### 2.3 颗粒分形维数的计算

已有的研究表明,分形理论可应用于定量描述土壤粒径、团聚体和微团聚体、土壤水分特征曲线和土壤孔径等方面,揭示出土壤颗粒的分形维数在定量描述土壤结构以及作为土壤肥力诊断指标等方面所具有的潜力<sup>[20-24]</sup>。

该试验中对颗粒的等效面积和等效周长的对数用最小二乘法拟合成一条直线并计算斜率  $K$ ,颗粒的分形维数为  $2K$ 。研究表明,该试验采集的数字图像中颗粒的等效面积和等效周长的线性关系显著 ( $R^2 = 0.8638$ ),通过计算得到其分形维数为 1.4184。由于土壤分形维数可为风蚀土壤结构及其质地状况的评价提供 1 个新指标<sup>[22,24]</sup>。由该分形维数值可以推测,该试验区土壤结构表现为细粒物质含量极少而粗粒物质含量较多,地表粗粒化现象严重,土壤有机质含量较低,由以上现象可以反映当地严重的风蚀状况。由分形维数所反映的状况与現地考察发现的一致,当地风大沙多,植被盖度低,极易发生土壤风蚀,再加之放牧与发展旅游业的影响,一部分地表已完全被不易侵蚀的颗粒( $d_{\text{颗粒}} > 0.84$  mm)所覆盖。

综上所述,数字图像处理技术能在不破坏现地地表状态的情况下,较为准确地测算出粗粒化地表颗粒的分布,从而评价其风蚀粗化程度。这种简便易行的测试手段,使現地非接触测定风蚀量有了可能,并排除了取样导致的误差,也为准确评价不同类型地表粗化程度创造了先决条件。因此,基于数字图像处理技术提取粗粒化地表颗粒分布状况的方法能为防治荒漠化提供必要的理论支持。

## 3 结论

(1) 经过 ERDAS IMAGINE 9.0 软件处理后再提取的颗粒面积与 ArcGIS 9.2 软件下矢量化得到的颗粒面积之间存在一定的差距,但是两者之间存在着

显著关系,可以利用其关系式进行颗粒面积补偿。

(2) 通过颗粒等效面积与等效周长求取的颗粒分形维数为 1.418 4,通过分形维数反映的现地粗粒化状况与实际考察结果大体一致。

(3) 采用图像处理软件可以对地表数字图像中的颗粒进行准确测量,省时省力的同时也提高了研究的精度。

(4) 由于在图像处理过程中仍存在一定的技术问题,所以对粗粒化地表颗粒分布精度的测量还有待进一步提高。

#### [参 考 文 献]

- [1] Chepil W S. Factors that influence clod structure and of soil by wind II: Wterstable structure[J]. Soil Science, 1953,76:389-399.
- [2] 董治宝,陈广庭. 内蒙古后山地区土壤风蚀问题初论[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1997,3(2):84-90.
- [3] 刘连友,王建华,李小雁,等. 耕作土壤可蚀性颗粒的风洞模拟测定[J]. 科学通报,1998,43(15):1663-1666.
- [4] 董治宝,李振山. 风成沙粒度特征对其风蚀可蚀性的影响[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(4):68-74.
- [5] 张春来,邹学勇. 耕作土壤表面的空气动力学粗糙度及其对土壤风蚀的影响[J]. 中国沙漠,2002,22(5):473-475.
- [6] 刘树林,王涛,屈建军. 浑善达克沙地土地沙漠化过程中土壤粒度与养分变化研究[J]. 中国沙漠,2008,28(4):611-616.
- [7] 王鹿振,虞毅,高永,等. 用于沙粒粒级信息提取的数值影像采集条件研究[J]. 内蒙古农业大学学报,2009,30(4):92-98.
- [8] MacKinnon D J, Pat S, Chavez J. Extraction of the geometry of surface clasts from ground-based digital images: Application to studies of wind erosion[C]. Lubbock, Texas, USA; Proc. of International Conference on Aeolian Research, 2002:127-129.
- [9] 王毅力,李乐勇,邓式阳,等. 图象法确定底泥颗粒物的表面分形维数( $D_s$ ) [J]. 环境化学,2006,25(4):400-404.
- [10] 于翔,宋家驹,刘连君. 利用 Adobe Photoshop 对悬沙颗粒图像预处理[J]. 海洋技术,2007,26(4):23-26.
- [11] 王绍怀,李智,邹桂莲,等. 小岛法分析沥青混合料图像中级配颗粒组成的分形特性[J]. 交通与计算机,2007,25(6):70-73.
- [12] 黄碧霞,陆阳. 基于数字图像处理的粗集料颗粒分布分析[J]. 路基工程,2008(1):23-25.
- [13] 丁秀丽,李耀旭,王新. 基于数字图像的土石混合体力学性质的颗粒流模拟[J]. 岩石力学与工程学报,2010,29(3):477-484.
- [14] 党安荣,王晓栋,陈晓峰,等. ERDAS IMAGINE 遥感图像处理方法[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [15] 党安荣,贾海峰,易善祯,等. ArcGIS 8 Desktop 地理信息系统应用指南[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [16] Voss R F, Laibowitz R B, Alessandrini E I. Fractal geometry of percolation in thin gold films[J]. NATO ASTI B, 1985,133:279-288.
- [17] 周捷,王印培,柳曾典,等. 分形金相的初步探讨:关于晶粒度的分形特征[J]. 华东理工大学学报,2000,26(2):188-190,211.
- [18] 袁琴. 基于 ERDAS 的淤泥质土微观孔隙的分形特征研究[J]. 资源环境与工程,2005,19(4):323-326.
- [19] 潘建永,陈刚,胡成,等. 基于 ERDAS 研究华北平原第四系黏土微观孔隙分形特征[J]. 地质科技情报,2009,28(5):113-117.
- [20] 吴承祯,洪伟. 不同经营模式团粒结构的分形特征研究[J]. 土壤学报,1999,36(2):162-167.
- [21] 黄冠华,詹卫华. 土壤颗粒的分形特征及其应用[J]. 土壤学报,2002,39(4):490-497.
- [22] 郭冬梅,白英,郭炜. 表层风蚀土壤粒径分布的分形特征研究[J]. 内蒙古农业大学学报,2005,26(1):82-86.
- [23] 胡云锋,刘纪远,庄大方,等. 不同土地利用/土地覆盖下土壤粒径分布的分形特征[J]. 土壤学报,2005,42(2):336-339.
- [24] 文海燕,傅华,赵哈林. 退化沙质草地开垦和围封过程中的土壤颗粒分形特征[J]. 应用生态学报,2006,17(1):55-59.