

微观尺度上土壤孔隙及其分维数的 SEM 分析

张季如 黄丽 祝杰 黄文竟

(武汉理工大学土木工程与建筑学院, 武汉 430070)

摘要 对两类不同质地土壤的 SEM 图像, 利用数字图像技术分析孔隙的大小、数量及其分布规律, 由测量数据给出了微观尺度上土壤孔隙的质量分维数 D_m 和表面分维数 D_s 。结果表明: D_m 与土壤质地、容重、孔隙度、孔径分布等之间存在一定的相关关系, 土壤质地越细、容重越大、孔隙度越低、小孔隙越多, D_m 越大, D_m 与土壤容重和孔隙度均存在显著线性回归关系; D_s 反映了土壤孔隙轮廓边界的曲折程度, 孔隙轮廓越不规则, D_s 越大, 土壤中各孔隙的 D_s 分布符合总体正态分布形式。 D_m 和 D_s 的数值大小对不同利用方式和耕作制度下的土壤较为敏感, 分维数可为土壤科学管理提供依据。

关键词 土壤孔隙; 微观尺度; 质量分维数 D_m ; 表面分维数 D_s ; SEM 分析
中图分类号 S152.32 **文献标识码** A

土壤是一种具有自相似结构的多孔介质, 具有明显的分形特征。许多学者将分形理论运用于土壤结构, 以及土壤持水、水分运动参数等的研究^[1~5]。土壤机械组成是土壤最基本的物理性质之一, 以粒径重量或数量分布表征的分形特性常被用来描述土壤质地状况^[6,7]。土壤结构状况研究的另一方面是土壤孔隙结构。Anderson 等^[8]利用土壤切片的二元图像研究了描述二维空间孔隙分布特征的质量分维数 D_m 和孔隙边缘粗糙度的表面分维数 D_s 。一些学者分析了 D_m 与土壤孔隙结构、质地、埋深、干缩裂缝等土壤性质以及耕作方式之间的关系^[9~12]; 一些学者研究了 D_s 与土壤质地、埋深、土壤水力性质和作物根系发育等之间的关系^[13~16], 以及图像分割、图像分辨率等试验因素对 D_s 的影响^[17,18]。目前, D_m 和 D_s 作为描述土壤孔隙结构的有用指标已成为众多学者的共识。

近年来迅速发展的数字图像技术为土壤结构的定量分析提供了一个强有力的工具^[19], 尤其对土壤孔隙表面分形和土壤结构进行小尺度 (μm) 研究更具有优势。本文首先利用数字图像技术对土壤微观结构的 SEM 图像进行定量分析; 在此基础上, 研究微观尺度上的土壤孔隙质量分维数 D_m 和表面分维数 D_s , 并探讨其不同土壤质地和利用方式上的差异和作用。

1 材料与方法

1.1 供试土壤与 SEM 图像制备

供试土壤取自武汉市龙泉山生态农业园耕层土壤, 园区土地的利用方式主要为花卉、蔬菜、茶叶和水果种植。8 个土壤样品分别取自菜地、桃园、茶园、橘园、草地、裸地, 其中桃子和柑橘种于 1995 年, 茶叶种于 1998 年。采样深度 0~20 cm, 土壤颗粒组成按国际制, 用比重计速测法测定。编号 SL-1~SL-5 的土壤质地为粉砂壤土, 编号 CL-1~CL-3 的质地为黏壤土。

原状土样风干后切成直径 20 mm、厚 3 mm 的试样, 再用锋利小刀将试样切成两半, 暴露出新鲜表面供研究。刀切法与掰断法相比的优点是获得的土壤切面穿过所有微结构单元, 可避免试样掰断时易造成固体颗粒剥离而在切面上形成伪孔隙, 从而导致孔隙结构失真。试验采用 JSM-5610LV 型扫描电镜 (SEM)。

在 8 个土样中各选择一幅代表性强的 SEM 图像作为分析对象。为使分析具有可比性, 所选图像的放大倍数均为 1 000 倍, 图像分辨率 ($0.095 \mu\text{m pixel}^{-1}$)、分析区域 ($127.8 \mu\text{m} \times 95.8 \mu\text{m}$) 完全相同。

1.2 图像分析方法

数字图像分析采用 IPP 专业图像分析软件。利用其图像采集、图像处理、尺寸测量、计数等功能, 对

* 中国博士后科学基金 (2003034010) 资助

作者简介: 张季如 (1964~), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤性质和环境岩土工程等方面的研究。E-mail: zhangjr@whut.edu.cn
收稿日期: 2006-10-08; 收到修改稿日期: 2006-12-14

SEM 图像中孔隙的大小、面积、数量等进行测量、统计和分类。图像分析须将灰度图像转换为黑白二元图像,这一步骤是保证分析结果真实反映土壤孔隙结构的关键。本研究采用目视法,即利用 IPP 阈值设定功能,阈值调试过程中用目测方式将图像与分

割图形相比较,以获得最佳阈值。对同一图像采用多人分别选取后取平均值,分析结果误差控制在 10% 以内。实践证明,目视法是一种简单和有效的方法。如图 1 所示,分割后的二元图像中,孔隙为白色,固体颗粒为黑色。

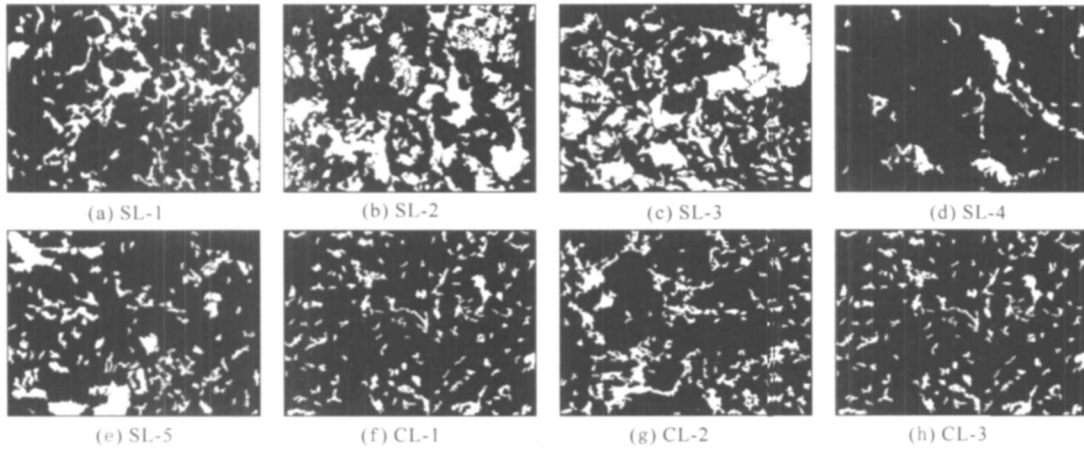


图 1 SEM 图像分割后的二元图像(白:孔隙,黑:固体颗粒)

Fig. 1 Binary images after segmentation of SEM images(white: pores, black: solid particles)

1.3 分维数试验方法简介

D_m 采用增大分辨率并测定分散系统背景消失速率的方法来获得^[20]。其原理是:将图 1 中二元图像视为矩形土壤截面的放大,假定最初将 SEM 设定到仅能看到标准化孔径 d_1^* (实测孔径 d_1 用矩形截面的长边去除) 的最大孔隙,并求得可见孔隙以外的标准化剩余面积 A_1^* (矩形截面积与可见孔隙面积之差用矩形截面积去除);增大放大倍数,将 SEM 调到正好能看见标准化孔径 d_2^* 的孔隙,这时标准化剩余面积为 A_2^* ;继续增大 SEM 的放大倍数,如此往复进行下去。利用这些标准化的 d_i^* 和 A_i^* 的对数值作图,若有直线关系且斜率为 k_m ,则 $D_m = 2 - k_m$ 。

与众多学者采用的格子计数法不同^[13~18],本文基于构造步长技术(Structured walk technique),利用 IPP 扩展功能编写程序计算求得 D_s ,其优点是分形概念明确,自动化程度高,受图像精度影响小。其原理是:利用 IPP 识别二元图像(图 1)中的孔隙轮廓,并测量其最大 Feret 直径 F_D (孔隙轮廓断面在任意方向上投影的最大尺寸)。选择一系列递减的 i 值作为标尺长度,自动测量孔隙轮廓周长 $P(i)$,测得的周长将随 i 减小而增大。将测量数据相对于 F_D 进行标准化处理,这些标准化的标尺长度 i^* 和周长 $P(i)^*$ 的对数值若能拟合成一条斜率为 k_s 的

直线,则 $D_s = 1 - k_s$ 。

2 结果与分析

2.1 孔径分布与孔隙度

8 个土样的孔隙在其孔径范围内划分成 10~14 个孔径级别, d 为每孔径级别对应的平均孔径。定义孔隙度为二元图像中孔隙面积与整幅图像面积的比值,则孔径分布是指各孔径级别的孔隙所对应的孔隙度。

孔径(对数)分布曲线(图 2)显示,孔隙的孔径分布极不规则,与土壤孔隙在宏观或细观上的孔径分布相比^[11, 19],差异较大。总体上粉砂壤因在小孔区($d < 5 \mu\text{m}$)的孔隙数量很大,导致孔隙度增大;因存在一些大孔隙,使大孔区($d > 10 \mu\text{m}$)的孔隙度也较大,中孔区($5 \mu\text{m} < d < 10 \mu\text{m}$)的孔隙度相对较小。黏壤中 CL-1、CL-3 样因缺乏大孔隙,使大孔区的孔隙度很小。

孔隙度随孔径(对数)递增的变化曲线(图 3)显示,总体上在 $d < 10 \mu\text{m}$ 的孔隙区域,孔隙度随孔径(对数)大致呈线性增加;大孔区($d > 10 \mu\text{m}$)的孔隙度随孔径(对数)的增长加快,这一趋势在粉砂壤中尤为明显。

粉砂壤土(SL-1 ~ SL-5)的总孔隙度依次为

16.6%、26.9%、20.1%、6.0%、14.0%，平均 16.7%；黏壤土 (CL-1 ~ CL-3) 的总孔隙度依次为 8.7%、12.7%、7.7%。平均 9.7%。粉砂壤因大孔隙较多而导致总孔隙度增大。

2.2 孔隙数量分布

孔隙数量分布曲线(图 4)显示,两类土壤的孔隙构成比较类似,主要是 $d < 3 \mu\text{m}$ 的小孔隙,所占比重很大。孔隙数量百分含量随孔径递增的变化曲线(图

5)显示,大致上 $d < 3 \mu\text{m}$ 的孔隙数量占总量的 80% 以上, $d < 5 \mu\text{m}$ 的孔隙数量超过总量的 90%。

2.3 质量分维数 D_m

以 $\lg d_i^*$ 为横坐标, $\lg A_i^*$ 为纵坐标。将图 2 中的孔径、孔隙度的测量数据作简单的形式转换和标准化处理,点绘可得图 6。图 6 显示各土样的试验数据均可拟合成一条直线, D_m 在 1.906 ~ 1.981 之间,拟合相关系数 r 在 0.964 ~ 0.993 之间。

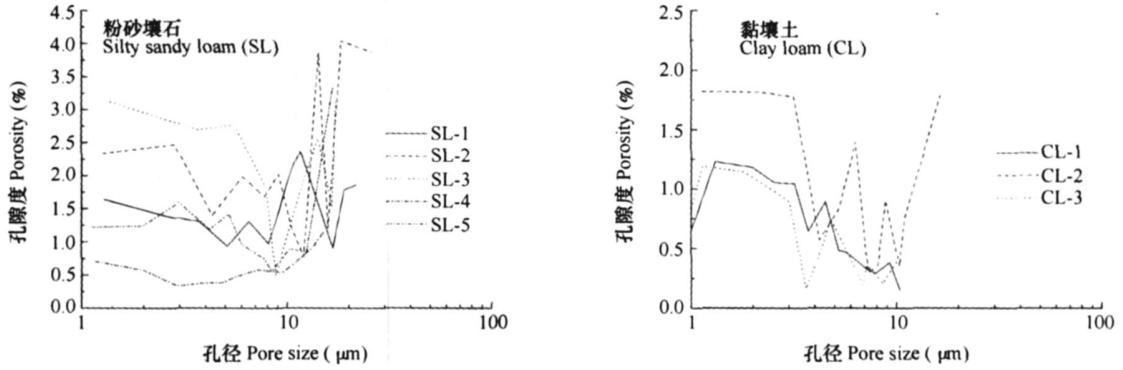


图 2 孔径(对数)分布

Fig.2 Distribution of pore size (log scale)

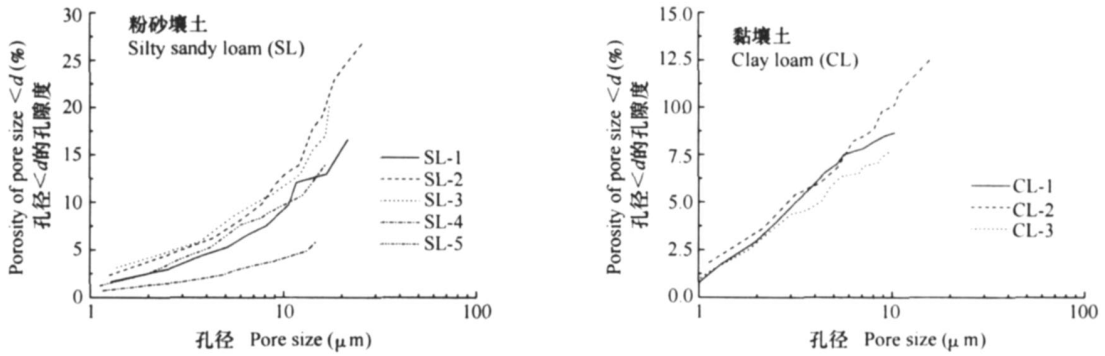


图 3 孔隙度随孔径(对数)递增的变化

Fig.3 Variation of porosity with increasing pore size (log scale)

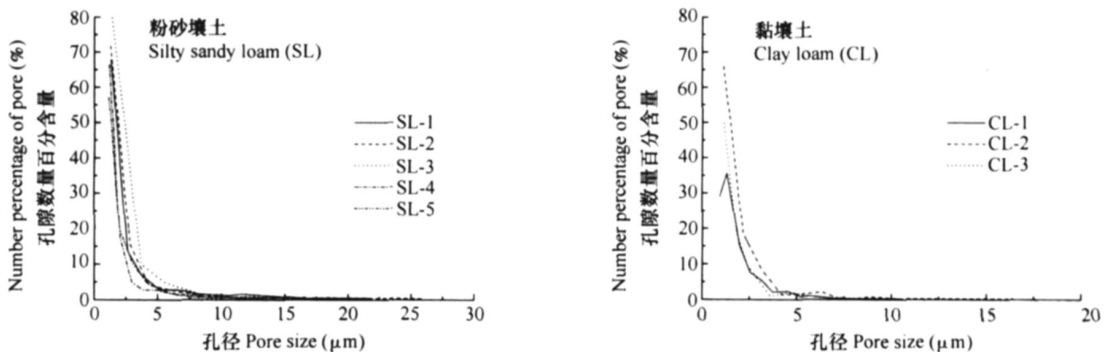


图 4 孔隙数量分布

Fig.4 Distribution of pore number

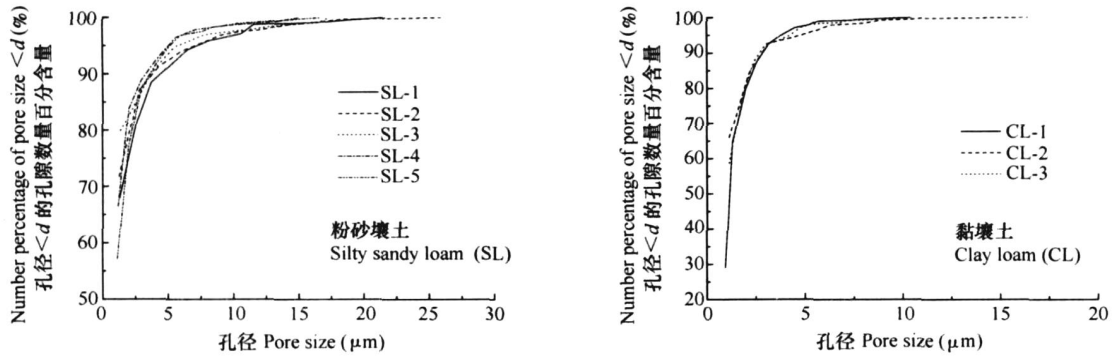


图 5 孔隙数量百分含量随孔径递增的变化

Fig. 5 Variation of percentage of pore number with increasing pore size

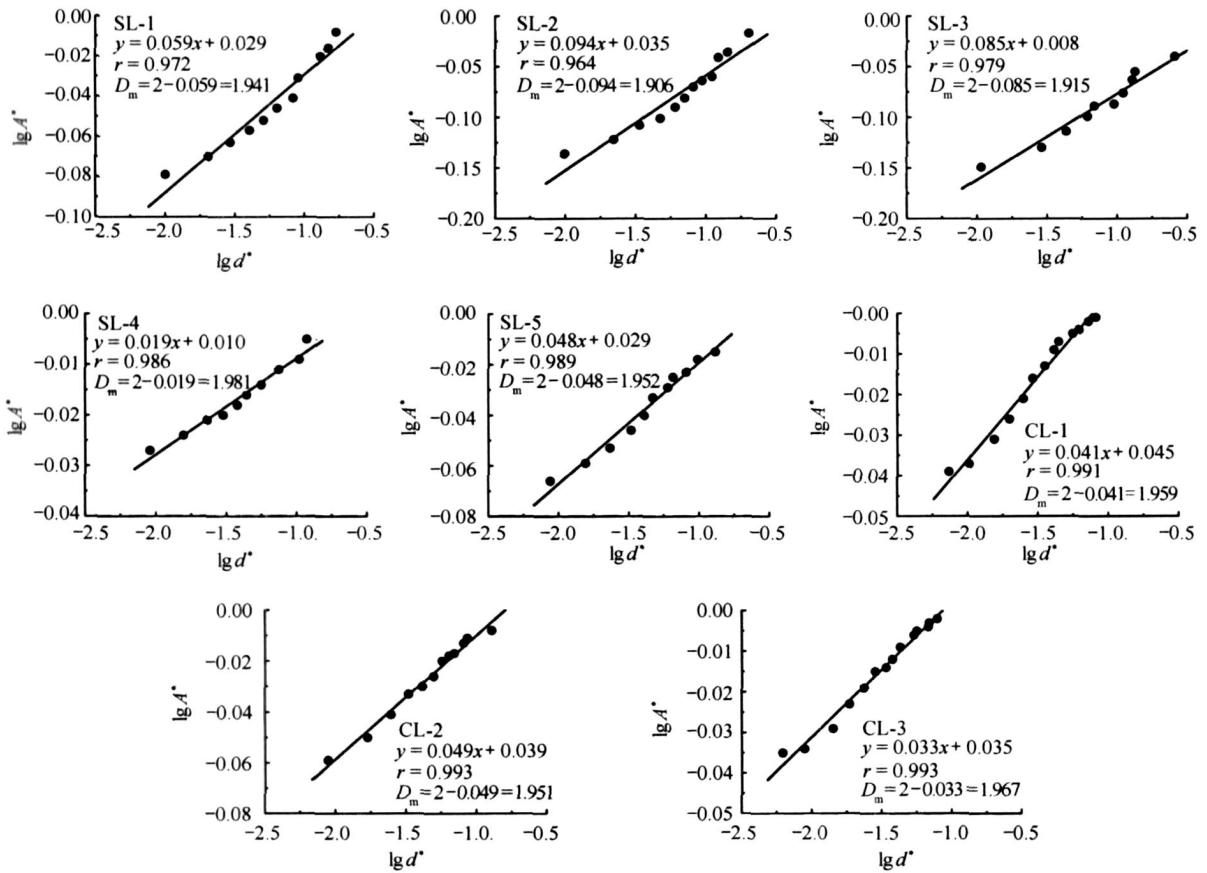


图 6 土壤孔隙质量分维数

Fig. 6 Mass fractal dimensions of soil pores

2.4 表面分维数 D_s

限于篇幅,仅以土样 SL-5 为例,所有 137 个孔隙的 D_s 计算结果示于图 7(孔隙轮廓按面积大小依次排列, D_s 标注于其旁)。图 7 显示: D_s 的取值范围在 1.0~1.5 之间,数值大小反映了土壤孔隙轮廓线的曲折程度。孔隙轮廓边界越粗糙、形状越不规则, D_s 越大。此外,一些 D_s 值相同或接近的孔隙轮廓具

有相似的曲折程度,但孔隙大小和总体形状却有很大差异。这说明 D_s 大小与孔隙轮廓的粗糙度和曲折程度是一致的,但不表征孔隙轮廓的大小和总体形状。

以 SL-2 和 CL-3 为例,两类土壤 D_s 样本的统计频数直方图均相似于正态分布,直方图外廓线接近于正态分布拟合结果的概率密度曲线(图 8)。将其



图 7 SL-5 土样的孔隙轮廓图像及其表面分维数

Fig. 7 Images of pore profile for SL-5 soil sample and pore surface fractal dimensions

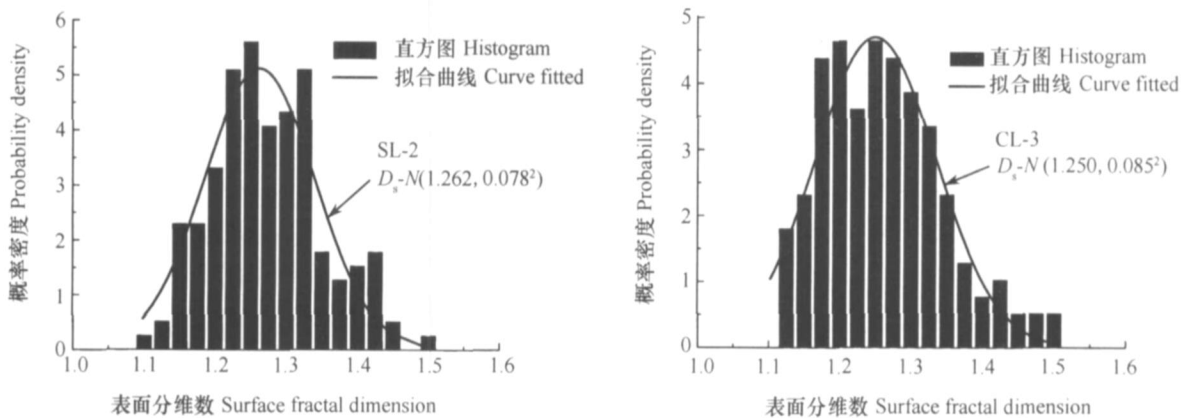


图 8 孔隙表面分维数的统计频数直方图和正态分布拟合曲线

Fig. 8 Histograms and curves fitted with normal distribution of pore surface fractal dimension

记为 $D_s - N(D_s^{op}, \sigma^2)$, 则横坐标 D_s^{op} 为曲线“峰顶” (众数) 对应的 D_s , 纵坐标为 D_s^{op} 对应的概率密度。应指出的是, 本次研究采用了检验是否正态分布的偏度、峰度检验法^[21], 对 8 个土样的 D_s 样本进

行总体正态分布拟合检验,算得各样本的偏度和峰度拒绝域均小于 1.960,说明各土样的 D_s 样本数据均来自于正态分布的总体,反映了土壤 D_s 分布的基本态势。

2.5 D_m 与土壤质地、容重、孔隙度和利用方式的关系

D_m 与一些土壤性质有以下关系(表 1):粉砂壤土(SL-1 ~ SL-3、SL-5)的质地较粗,孔隙度较大(平均 19.4%),孔径范围较宽,含有较多的大孔隙, D_m 较小

(平均 1.929)。但 SL-4 样比较特殊,土样中孔隙数量较少,导致孔隙度较小(6.0%), D_m 较大(1.981);黏壤土(CL-1 ~ CL-3)的质地较细,孔隙度较小(平均 9.7%),孔径范围较窄,孔隙级配单一,主要由小孔隙构成, D_m 较大(平均 1.959)。

一般来说,土壤质地越细,孔隙度越低,小孔隙越多, D_m 越大^[9]。本次研究表明,这一趋势在微观尺度上的土壤结构中同样得到反映。

表 1 土壤部分性质与孔隙质量分维数

Table 1 Some properties and pore mass fractal dimensions in soils

土样 Soil sample	利用方式 Management patterns	颗粒组成 Particle composition (%)				容重 Bulk density r_s (g cm^{-3})	图像分析 Image analysis			质量分维数 Mass fractal dimension D_m	相关系数 Correlation coefficient r
		2 ~ 0.2 mm	0.2 ~ 0.02 mm	0.02 ~ 0.002 mm	< 0.002 mm		孔隙数 Pore number	孔径范围 Range of pore size (μm)	总孔隙度 Total porosity P_t (%)		
SL-1	菜地 Vegetable garden	16.98	21.32	51.83	9.87	1.15	125	1.3 ~ 21.6	16.6	1.941	0.972
SL-2	菜地 Vegetable garden	17.52	17.75	57.37	7.36	0.98	157	1.3 ~ 25.9	26.9	1.906	0.964
SL-3	菜地 Vegetable garden	20.93	23.64	49.31	6.12	1.05	163	1.4 ~ 33.3	20.1	1.915	0.979
SL-4	桃园 Peach land	16.74	22.21	47.74	13.31	1.27	58	1.2 ~ 15.1	6.0	1.981	0.986
SL-5	茶园 Tea land	17.68	17.12	53.74	11.46	1.25	137	1.1 ~ 16.6	14.0	1.952	0.989
CL-1	橘园 Orange land	12.47	28.67	42.21	16.65	1.18	168	0.9 ~ 10.4	8.7	1.959	0.991
CL-2	草地 Grassland	11.85	31.45	37.36	19.34	1.20	152	1.1 ~ 16.4	12.7	1.951	0.993
CL-3	裸地 Bare land	12.77	36.74	27.76	22.73	1.30	155	0.8 ~ 10.0	7.7	1.967	0.993

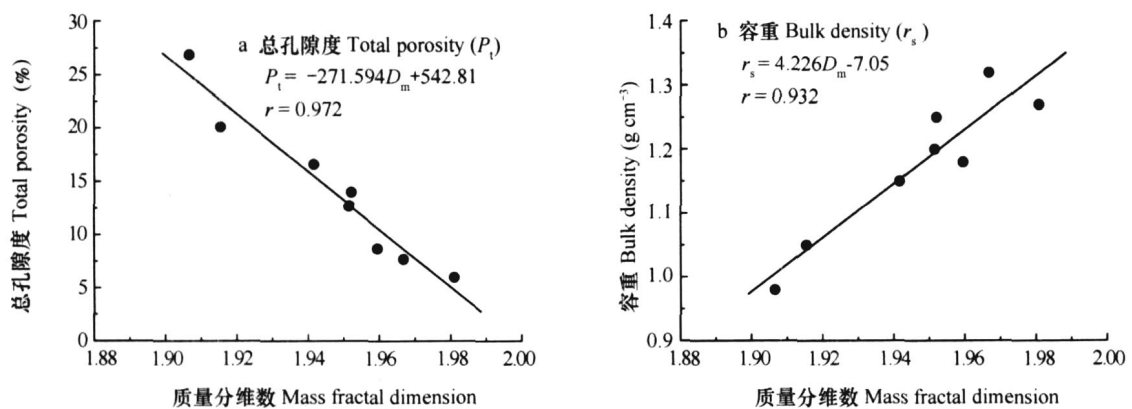


图 9 总孔隙度和容重与质量分维数的关系

Fig. 9 Relationships between total porosity (a) or bulk density (b) and pore mass fractal dimension

D_m 与土壤容重 r_s 的关系密切^[10]。 r_s 越大, D_m 越大,表 1 结果总体上反映了这一趋势。

将 8 个土样的 D_m 与总孔隙度 P_t 和容重 r_s 作线性回归分析, D_m 与 P_t (图 9a)和 r_s (图 9b)之间分别存在较为显著的回归关系。说明 D_m 能客观反映土壤结构性状,从而可为土壤通透性、土壤肥力的表征提供一个新指标。

表 1 也显示:在不同利用方式中,常规耕作的菜地土壤质地较粗,孔隙度较大, D_m 较小;免耕果园土壤质地较细,孔隙度较小, D_m 较大,土壤结构趋于紧实。说明不同利用方式和耕作制度下的土壤结构差异,可通过 D_m 值大小加以反映。此外,裸地与自然草地比较,裸地土壤孔径范围狭窄,孔隙细密单一,孔隙度变小, D_m 增大。裸地因长期遭受强烈侵蚀,土壤结构趋于变劣,土壤板结、通透性和抗蚀性差。因此, D_m 也反映了土壤的抗蚀性。

2.6 土壤利用方式对 D_s 的影响

一般来说, D_s 是描述土壤单个孔隙轮廓的粗糙度和曲折程度的指标,难以全面反映土壤孔隙结构的整体不规则状况,应用时一般将图像中所能识别的所有孔隙的 D_s 取平均值作为最终结果^[16]。本研究利用 D_s 频度分布曲线所处的位置关系(图 10)或“峰顶”(众数)的 D_s^{top} 作为评价指标(表 2),能较为全面地反映土壤孔隙结构的差异。

有学者的研究结果显示: D_s 与土壤质地关系密切,土壤质地越细,黏粒含量越高,孔隙形状越复杂, D_s 值越大^[15, 16]。本次研究表明,无论从 D_s 的取值范围或 D_s^{top} 来看,微观尺度上的土壤结构未能明确反映这一趋势(表 2)。

土壤不同利用方式对 D_s 分布有明显影响。从各土样的 D_s 分布曲线所处位置来看(图 10),菜地土壤的 D_s 曲线比较一致,位置靠右, D_s^{top} 在 1.220 ~

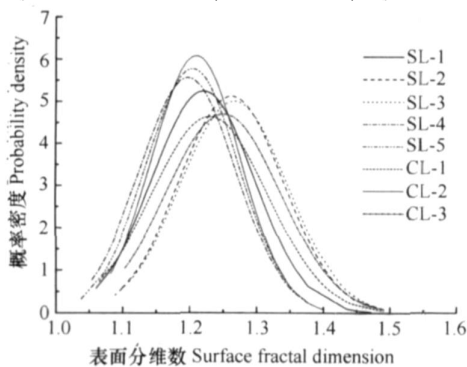


图 10 表面分维数的分布

Fig. 10 Distribution of pore surface fractal dimension

1.267 之间,平均 1.250, D_s^{top} 较大;茶园、果园等林地土壤的 D_s 曲线位置左移, D_s^{top} 在 1.197 ~ 1.230 之间,平均 1.210, D_s^{top} 较小,总体上表明了菜地土壤较林地土壤的孔隙边缘粗糙和不规则, D_s 分布的不同初步揭示了不同经营模式下土壤孔隙结构的差异性。此外,裸地土壤的 D_s^{top} (1.250)大于自然草地土壤(1.209), D_s 曲线较草地右移,总体上表明了裸地土壤的孔隙轮廓较为粗糙,规则性差, D_s 分布的差异揭示了侵蚀土壤的不同利用方式之间土壤孔隙结构性质的变化。

表 2 土壤孔隙表面分维数的取值范围和特征值

Table 2 Range of pore surface fractal dimension and D_s^{top} in soils

土样 Soil sample	利用方式 Management patterns	D_s 值范围 Range of D_s value	D_s^{top}	D_s^{top} 的概率密度 Probability density of D_s^{top}
SL-1	菜地 Vegetable garden	1.069 ~ 1.464	1.220	5.2
SL-2	菜地 Vegetable garden	1.111 ~ 1.496	1.262	5.1
SL-3	菜地 Vegetable garden	1.089 ~ 1.467	1.267	5.0
SL-4	桃园 Peach land	1.058 ~ 1.376	1.197	5.6
SL-5	茶园 Tea land	1.038 ~ 1.361	1.204	5.8
CL-1	橘园 Orange land	1.082 ~ 1.490	1.230	4.6
CL-2	草地 Grassland	1.088 ~ 1.397	1.209	6.1
CL-3	裸地 Bare land	1.112 ~ 1.477	1.250	4.7

总的来说,目前 D_s 多用作土壤孔隙结构,以及与孔隙结构相关的土壤持水、水分运动参数等土壤水力性质的描述,更为广泛的应用还有待于进一步的深入研究和探索。

3 结 论

分形理论是定量描述土壤孔隙结构的有用工具,本文研究结果在一定程度上表明了其应用前景。土壤孔隙的质量分维数 D_m 和表面分维数 D_s 定量描述了土壤在微观尺度上的孔隙结构特征,揭示了分维数与土壤结构状况、土壤性质和利用方式等之间的关系。

总体上 D_m 随土壤质地的变细而增大,随土壤

容重的减小而降低,随小孔隙的增多而增大,随孔隙度的增大而降低,并与土壤容重和孔隙度存在着较为显著的直线回归关系。土壤在不同利用方式、耕作制度和侵蚀条件下的 D_m 存在差异,总体上表现为,免耕林地土壤的 D_m 大于常规耕作的菜地土壤,强侵蚀裸地土壤的 D_m 大于草地土壤,因而前者的土壤结构表现得更为紧实。

D_s 定量描述了土壤孔隙轮廓边界的粗糙度和曲折程度。孔隙边缘越粗糙、形状越不规则, D_s 越大,但不表征孔隙轮廓大小和总体形状。土壤中各孔隙的 D_s 分布表现为正态分布形式。土壤不同利用方式对 D_s 分布有一定影响,总体上表现为,菜地耕作土壤的 D_s^{top} 大于免耕林地土壤,强侵蚀裸地土壤的 D_s^{top} 大于草地土壤,因而前者的孔隙边缘相比较为粗糙和不规则。

参考文献

- [1] Katz A J, Thompson A H. Fractal sandstone pores: Implications for conductivity and pore formation. *Physical Review Letters*, 1985, 54: 1 325 ~ 1 328
- [2] Tyler S W, Wheatcraft S W. Application of fractal mathematics to soil water retention estimation. *Soil Science Society of America Journal*, 1989, 53: 987 ~ 996
- [3] Tyler S W, Wheatcraft S W. Fractal processes in soil water retention. *Water Resources Research*, 1990, 26: 1 047 ~ 1 054
- [4] Rieu M, Sposito G. Fractal fragmentation, soil porosity, and soil water properties: Theory, Applications. *Soil Science Society of America Journal*, 1991, 55: 1 231 ~ 1 248
- [5] Kravchenko A, Zhang R. Estimating the soil water retention from particle-size distribution: A fractal approach. *Soil Science*, 1998, 163: 171 ~ 179
- [6] Tyler S W, Wheatcraft S W. Fractal scaling of soil particle-size distributions analysis and limitations. *Soil Science Society of America Journal*, 1992, 56: 362 ~ 369
- [7] 张季如,朱瑞庚,祝文化. 用粒径的数量分布表征的土壤分形特征. *水利学报*, 2004, 35(4): 67 ~ 71, 79. Zhang J R, Zhu R G, Zhu W H. Fractal features of soils characterized by grain size distribution (In Chinese). *Journal of Hydraulic Engineering*, 2004, 35(4): 67 ~ 71, 79
- [8] Anderson A N, McBratney A B, FitzPatrick E A. Soil mass, surface, and spectral fractal dimensions estimated from thin section photographs. *Soil Science Society of America Journal*, 1996, 60: 962 ~ 969
- [9] 李德成, Velde B, Delerue J F, 等. 土壤孔隙质量分数维 D_m 二元图像分析及其影响因素研究. *土壤通报*, 2002, 33(4): 256 ~ 259. Li D C, Velde B, Delerue J F, *et al.* Analysis of mass fractal dimension D_m of pore structure in soil and influencing factor (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2002, 33(4): 256 ~ 259
- [10] Oleschko KB, Figueroa S, Miranda M E, *et al.* Mass fractal dimension and some selected physical properties of contrasting soils and sediments of Mexico. *Soil & Tillage Research*, 2000, 55: 43 ~ 61
- [11] Velde B. Surface cracking and aggregate formation observed in a Rendzina soil, La Touche (Vienne) France. *Geoderma*, 2001, 99: 261 ~ 276
- [12] Oleschko K, Brambila F, Aceff F, *et al.* From fractal analysis along a line to fractals on the plane. *Soil & Tillage Research*, 1998, 45: 389 ~ 406
- [13] Oleschko K. Delesse principle and statistical fractal sets: 2. Unified fractal model for soil porosity. *Soil & Tillage Research*, 1999, 52: 247 ~ 257
- [14] Lipiec J, Hatano R, Slowi ska-Jurkiewicz A. The fractal dimension of pore distribution patterns in variously-compacted soil. *Soil & Tillage Research*, 1998, 47: 61 ~ 66
- [15] 郭飞,徐邵辉,刘建立. 土壤样本分形几何特征的图像分析方法. *土壤学报*, 2005, 42(1): 24 ~ 28. Guo F, Xu S H, Liu J L. On fractal geometry characteristics of soil sample image (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(1): 24 ~ 28
- [16] 郭飞,徐邵辉,刘建立. 土壤图像孔隙轮廓线分形特征及其应用. *农业工程学报*, 2005, 21(7): 6 ~ 10. Guo F, Xu S H, Liu J L. Characteristics of pore profile fractal dimension of soil images and its application (In Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, 21(7): 6 ~ 10
- [17] Dathe A, Eins S, Niemyer J, *et al.* The surface fractal dimension of the soil-pore interface as measured by image analysis. *Geoderma*, 2001, 103: 203 ~ 229
- [18] Ogawa S, Baveye P, Boast C W, *et al.* Surface fractal characteristics of preferential flow patterns in field soils: Evaluation and effect of image processing. *Geoderma*, 1999, 88: 109 ~ 136
- [19] 李德成, Velde B, Delerue J F, 等. 免耕制度下耕作土壤结构演化数字图像分析. *土壤学报*, 2002, 39(2): 214 ~ 220. Li D C, Velde B, Delerue J F, *et al.* Image analysis of development of cultivated soil structures under non-tillage system (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(2): 214 ~ 220
- [20] 徐阳新,康雁,陈旭,等译. Kaye B H. 分形漫步. 沈阳: 东北大学出版社, 1994. 578 ~ 580. Xu Y X, Kang Y, Chen X, *et al.* trans. Kaye B H. A Random Walk Through Fractal Dimensions (In Chinese). Shenyang: Northeastern University Press, 1994. 578 ~ 580
- [21] 盛骤,谢式千,潘承毅. 概率论与数理统计. 第二版. 北京: 高等教育出版社, 1989. 222 ~ 224. Sheng J, Xie S Q, Pan C Y. Probability Theory and Mathematical Statistics (In Chinese). 2nd Ed. Beijing: Higher Education Press, 1989. 222 ~ 224

SEM ANALYSIS OF SOIL PORE AND ITS FRACTAL DIMENSION ON MICRO SCALE

Zhang Jiru Huang Li Zhu Jie Huang Wenjing

(School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract Samples of two soils different in soil texture were collected and scanned with a scanning electron microscope (SEM) producing SEM images in the scale ranging from 0.1 to 127.8 μm for analysis of size and number of pores and their distributions. The mass fractal dimension D_m and the surface fractal dimension D_s of soil pores are obtained from the measured data. The analysis shows that the certain correlativity of D_m existed with soil texture, bulk density, porosity and pore-size distribution. The finer the soil texture, the larger the bulk density, the lower the porosity, the higher the percentage of small pores, and the larger the D_m . D_m displayed a significant linear regression relationship with soil bulk density and soil porosity of soil. D_s reflects the degree of irregularity of the pore-solid interface in soil, and the larger the D_s the more irregular the soil pore profile. The distribution of D_s was found in agreement with a total normal distribution in soil pore. Both D_m and D_s was sensitive to variation of management pattern and tillage system of soils and they may be cited as useful indicators for soil management.

Key words Soil pore; Micro scale; Mass fractal dimension D_m ; Surface fractal dimension D_s ; SEM analysis