

土壤团聚体稳定性评价方法比较

苏 静¹, 赵世伟²

(1. 延安大学 西安创新学院, 陕西 西安 710100; 2. 中国科学院 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 土壤团聚体稳定性是评价土壤结构和土壤物理形状的重要指标。对土壤团聚体分形维数、土壤团聚体平均重量直径和 >0.25 mm 团聚体含量 3 种土壤团聚体结构评价的方法进行了探讨。结果表明, 分形维数与 >0.25 mm 团聚体的含量呈负相关性, 但是平均重量直径与 >0.25 mm 团聚体的含量有正的相关性。这三种方法都能应用来评价土壤结构, 但是分形维数不仅表示土壤结构, 还能说明土壤水分和土壤其它的物理性质。因此, 分形维数是评价土壤结构的较好的方法。

关键词: 团聚体; 分形维数; 平均重量直径; >0.25 mm 团聚体含量

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2009)05-0114-04

中图分类号: S152.4

Comparison of the Analysis Methods for Soil Aggregate Stability

SU Jing¹, ZHAO Shi-wei²

(1. Xi'an Innovation College, Yan'an University, Xian, Shaanxi 710100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The soil aggregates stability is one of the important factors to analyze soil structure. Soil aggregates were investigated in view of the fractal fraction, the amount of >0.25 mm aggregates and the aggregate weight dimension (MWD). Results showed that there was a negative correlation between the fractal fraction and the amount of >0.25 mm aggregates. On the contrary there was a positive correlation between the MWD and the amount of <0.25 mm aggregates. This indicates that the fractal fraction and the MWD can be used to appraise soil structure and the fractal fraction is better than the MWD because the fractal fraction is able to reflect soil water and other properties.

Keywords: soil aggregate; fractal fraction; MWD; amount of >0.25 mm soil aggregate

土壤结构是土壤功能表现的基础, 土壤团聚体的稳定性直接影响土壤表层的水、土界面行为, 特别是与降雨入渗和土壤侵蚀关系密切, 因此土壤水稳性团聚体的数量和特征反映了土壤结构的稳定性和抗侵蚀能力^[1]。土壤水稳性团聚体稳定性指标和研究方法是黄土高原地区研究土壤抗侵蚀的主要方向之一, 植被破坏及恢复后, 土壤结构和土壤功能发生改变, 反映出土壤水稳性团聚体数量和特征的变化。

土壤团聚体稳定性评价的方法很多, Van Bavel (1949) 已经提出将平均重量直径当作土壤团聚体分布和稳定的指标之一^[2], 分形维数作为描述土壤质地、土壤团聚体等变化的指标有了进一步的发展^[3-6]。宁南地区植被恢复后, 土壤结构和功能发生变化。土壤水稳性团聚体的数量和特征是研究植被恢复过程中土壤结构和功能变化的基本要素。本文应用土壤分形维数、平均重量直径和 >0.25 mm 水稳性团聚

体的含量这 3 种方法探讨了宁南黄土丘陵区土壤团聚体稳定性, 为更好地评价土壤团聚体稳定性及土壤结构提供有效的、合理的方法提出依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

本研究在黄土高原宁南宽谷丘陵区的固原县(上黄村)和彭阳县(王洼乡)进行。上黄村东经 $106^{\circ}26' - 106^{\circ}30'$, 北纬 $35^{\circ}59' - 36^{\circ}03'$; 海拔高度 $1534 \sim 1824$ m。土壤为绵黄土、淡黑垆土和普通黑垆土。彭阳县(王洼乡), 包括姚岔和姬阳洼 2 个小流域, 东经 $106^{\circ}32'45'' - 106^{\circ}33'15''$, 北纬 $36^{\circ}04'30'' - 36^{\circ}09'36''$, 属中温带半干旱区, 多年平均温度 6.8°C , 年平均降水量为 413.94 mm, 土壤以绵黄土为主, 在 20 世纪 80 年代进行大规模的人工造林。研究区植被属灌丛草原植被类型区, 在群落中起优势作用的植

物有茺蒿 (*Artemisia giraldii*)、长芒草 (*Stipa bungeana*)、铁杆蒿 (*Artemisia sacrorum*) 等,白羊草 (*Borthriochloa ischaemum*)、沙棘 (*Hippophae rhamnoides*)、柠条 (*Caragann korshinskii*) 和山杏 (*Prunus armeniaca* L.) 等。

1.2 样地选择

按照植被类型,植被恢复年限,坡向为主要的基点选区,同时选区农田为对照。以农田、草地、荒草地、柠条、沙棘、杏树林为主要的研究植被。

2 土样及分析方法

2.1 土壤样品的采集

在植物群落的每个典型样地随机挖 3 个剖面,按土层深度 0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm 采集原状土,用采样盒收集,避免破坏土壤结构。同时用自封塑料袋分层采集混合土样,每一个土层分别用土钻 8—10 个点,然后按照四分法,将土样混合,然后带回。原状土样室内风干后,用萨维诺夫湿筛法测定 > 5 mm,2.0~5.0,2.0~1.0,1.0~0.5,0.5~0.25,< 0.25 mm 的各级团聚体含量。

2.2 测定方法

土壤团聚体分级用萨维诺夫湿筛法^[7]测定,称取 50 g 土壤,注入 1 000 ml 水,上下颠倒 10 次,然后放置到约德机重震荡 10 min,取出每一个筛子上团聚体烘干,称重,计算每一粒级中团聚体的含量。> 5,2.0~5.0,2.0~1.0,1.0~0.5,0.5~0.25,< 0.25 mm 的各级团聚体含量。

2.3 数据处理与分析

2.3.1 土壤团聚体各个粒径含量 各个样地土壤各个粒径团聚体含量为 3 次重复的算术平均值。

2.3.2 团聚体分形维数 分形理论应用与土壤科学始于 20 世纪 80 年代初。具有相似结构地多孔介质,大于某一粒径 d_i 的土粒构成的体积 $V(r > d_i)$ 可由 Katz 的公式推出:

$$V(r > d_i) = A [1 - (d_i/k)^{3-D}] \quad (1)$$

式中: r ——直径; A, K ——描述形状尺度的常数。以表示两个相邻粒级的平均直径,忽略各粒级间土粒比重差异,则:

$$W(r > d_i) = A [1 - (d_i/d_{max})^{3-D}] \quad (2)$$

式中: $W(d_i)$ ——大于 d_i 的累计土粒重量, W_0 ——各粒级重量的总和, $\lim d_i = 0$,可推出

$$\lim W(r > d_i) = A \quad (3)$$

有以上可推出:

$$W(r > d_i) / W_0 = 1 - (d_i/d_{max})^{3-D} \quad (4)$$

d_{max} 是最大土粒直径, D 为分形维数。明显 $3 - D$ 是 $\lg(W_i/W_0) \sim \lg(d_i/d_0)$ 线性关系的斜率^[8]。

2.3.3 团聚体平均重量直径

$$\text{平均重量直径 (MWD)} = [(d_i + d_{i-1})/2] * (d_i - d_{i-1})$$

3 结果与分析

3.1 土壤水稳性团聚体的分布

土壤团聚体和水稳性团聚体的状况是影响土壤肥力、结构和功能的重要因素,用萨维诺夫湿筛法测定土壤水稳定性团聚体含量的结果表明,不同粒径团聚体含量的分布为:<0.25 mm 团聚体含量最高,其次为 >5 mm 团聚体含量,2.0~5.0 mm 和 0.25~0.5 mm 和 0.5~1.0 mm 粒径团聚体含量差异不大。不同植被团聚体含量各个粒径差异较大,土壤 > 5 mm 水稳性团聚体含量顺序是,柠条最大,沙棘最少。土壤 <0.25 mm 团聚体含量顺序是:沙棘 < 荒草地 < 杏树 < 柠条 < 农田。荒草地土壤在粒径 0.5~1.0 mm 团聚体中的含量达到最大(图 1)。

造成 >0.25 mm 粒径团聚体含量增加的原因可能是由于植被恢复提高土壤养分,改善了土壤结构。因此有植被的土壤团聚体含量大于农田植被之间造成的差异与植物本身特性有关。例如,柠条根系庞大,而且不同粒径的大根和小根在不同层次都有分布,但是沙棘大侧根在土壤深层不再分布。另一方面由于选取的点在地理位置上存在差异,植被的坡度和坡向影响植被的生长状况及其下垫面的性质。

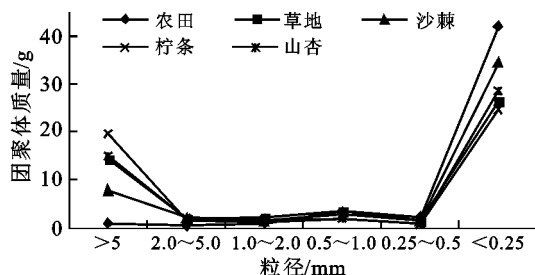


图 1 不同植被对 0—10 cm 土层团聚体分布的影响

3.2 团聚体分形维数

土壤团聚体分形维数的试验结果显示,土壤团聚体分形维数农田的最大,荒草地的最低,沙棘、柠条和山杏居中。植被恢复过程中降低土壤水稳性团聚体分形维数,随着植被从灌丛到草地,团聚体分形维数减小,草地对土壤团聚体结构的改善高于灌丛。

分形维数与土壤物理性质有关。陈秉聪指出:土壤 PSD (particle-sized distribution) 分形维数 D_p 升高,标志着土壤中黏粒含量增大,单位质量土粒表面积增大,土壤因相对水分子的吸附力增强;另一方面,在土壤孔隙比相同的情况下,土壤 PSD 分维越大,毛细管尺寸越小,毛细管压力越大。土壤 PSD 分维升

高将使土壤持水性增强。土壤吸附能力的增加说明土壤对养分的吸附能力增强,分形维数作为分析土壤结构和组成的重要方法,在评价土壤结构中起着重要作用,同时分形维数也能说明土壤的功能^[9]。丁文峰指出,分形维数越小,土壤容重越小,土壤越疏松,土壤含蓄水分和保持水土的功能越强^[10],土壤团聚体分形维数越大,土壤结构越不稳定,土壤抗侵蚀能力越差。因此,有植被的土壤水土保持功能好于农田,荒草地最好,柠条、沙棘、杏树次之(图 2)。

荒草地土壤由于一方面荒草凋落物和草根的作用,另一方面荒草地是天然恢复的,而其它植被是人工种植的,因此荒草地对土壤结构的改善能力较强。沙棘、柠条和山杏由于大都种植的坡度较大,由于固原气候条件风的影响,这些植被的凋落物经风的搬运,输入土壤中的较少。另一方面由于坡度大,土壤受侵蚀影响较大,土壤表面产生了水土流失,引起有机物的损失。

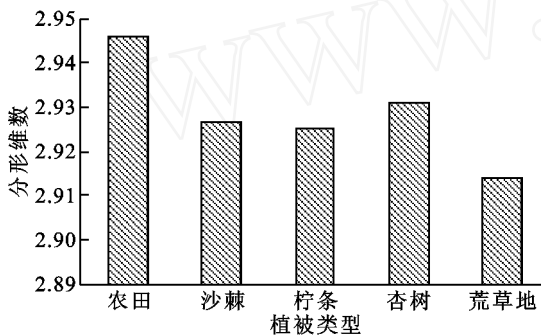


图 2 不同植被下土壤团聚体的分形维数差异

3.3 分形维数与 >0.25 mm 土壤团聚体含量的关系

数据显示分形维数与 >0.25 mm 土壤团聚体含量成负相关关系,分形维数越大,>0.25 mm 团聚体含量越低,而且达到 0.01 显著性水平($f = 7.08, n = 60$)。土壤分形维数是反映土壤结构几何形状的参数,土壤团聚体粒径分布的分形维数反映了土壤水稳性团聚体及水稳性团聚体对土壤结构与稳定性的影响趋势,即团聚体分形维数越小,土壤则具有良好的结构与稳定性。>0.25 mm 水稳定团聚体的含量越高,土壤结构越稳定,土壤抗蚀性越好;与此对应分形维数大,表示土壤团聚体需要的分维值就越高,土壤结构越复杂,土壤发育阶段越高(图 3)。

3.4 土壤团聚体平均重量直径

图 4 结果显示,土壤团聚体平均重量直径,柠条高于杏树、荒草地、沙棘、农田最小。土壤平均重量直径表层(0—10 cm)高于 10—20 cm 和 20—30 cm,但是农田和荒草地平均重量直径在这 3 层中的差异不大,沙棘、柠条和杏树之间的差异较大。在 10—20 cm 土层柠条和杏树平均重量直径高于其它植被类

型,而在 20—30 cm 土层荒草地最高,各个植被下的差异不显著。

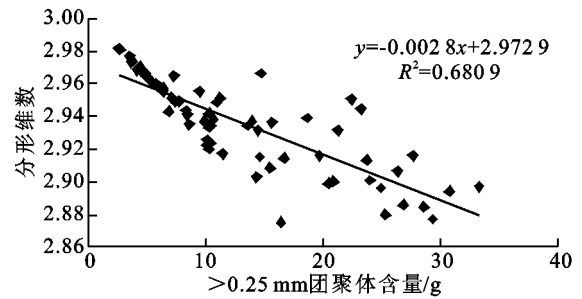


图 3 >0.25 mm 团聚体含量与分形维数间关系

土壤团聚体平均重量直径的值越大,土壤结构越稳定,土壤抗侵蚀能力越强。说明柠条、杏树、荒草地、和沙棘土壤的抗侵蚀能力高于农田。表层土壤累计有机质含量较多,促进土壤团聚体的形成,因此,平均重量直径较大。荒草地和农田由于有机质大都累计在表层,人为耕作影响,三层间的差异不大。杏树和柠条在 10—20 cm 值较大,因为柠条根系很深,杏树栽培的时间较长。在 20—30 cm 土层团聚体平均重量直径差异不显著说明植被对土壤结构的影响主要表现在 0—20 cm 的表层,深层影响较小。

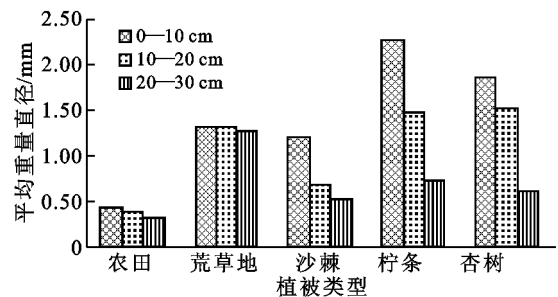


图 4 不同植被下土壤团聚体平均重量直径差异

3.5 平均重量直径与 >0.25 mm 土壤水稳性团聚体含量的关系

从图 5 可以看出,平均重量直径与 >0.25 mm 土壤团聚体成正相关关系,达到极显著水平。平均重量直径越大,>0.25 mm 水稳性团聚体的含量越多,土壤结构越稳定。土壤团聚体平均重量直径是土壤结构评价的指标之一,平均重量直径的增加说明大粒径团聚体数量的增加。平均重量直径与 >0.25 mm 水稳性团聚体含量关系的线性回归估计标准误 $S_{y,x} = 0.164517$ 可预测 y 值的精确度, $S_{y,x}$ 越小,与回归方程估计的 y 值的精确度就越高。它的统计意义是在 $y \pm 0.164517$ (g) 范围内 68.27% 个观察值,在 $y \pm 2 * 0.164517$ (g) 范围内有 95.45% 个观察值。

4 结论

土壤结构是土壤质地、有机质、生物活动及人

类耕作措施等综合作用的结果。固原黄土丘陵人工植被恢复以后土壤团聚体稳定性研究结果说明,植被恢复改善了土壤结构,提高了土壤功能。土壤团聚体分形维数农田最大,山杏、沙棘和柠条其次,荒草地最小,分形维数与 >0.25 mm 团聚体含量负相关。土壤团聚体平均重量直径柠条 $>$ 沙棘 $>$ 荒草地 $>$ 山杏 $>$ 农田,平均重量直径与 >0.25 mm 团聚体含量呈显著的正相关关系。这些结果一致说明植被恢复后土壤团聚体稳定性增加,植被恢复是增强土壤水稳性的有效方法之一。土壤团聚体分形维数、土壤团聚体平均重量直径和 >0.25 mm 水稳性团聚体含量作为评价土壤团聚体稳定性的方法,能反映土壤结构的变化,能够说明土壤结构的改善。

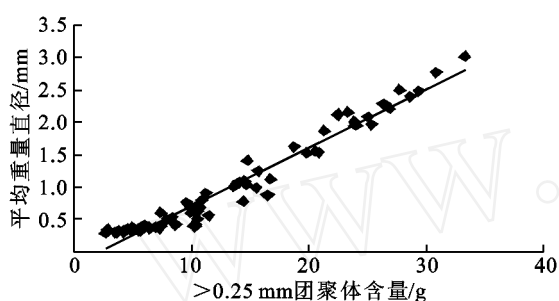


图5 平均重量直径与 >0.25 mm 水稳性团聚体含量关系

土壤结构评价的指标很多,但是这些指标还存在差异。土壤分形维数能应用在多个方面表征影响土壤结构稳定性的因子变化,而且能够反映次生植被恢复条件下土壤结构稳定性的变化,适合作为土壤结构稳定性的指标^[11]。宫阿都认为土壤粒径分布的分形维数客观地反映退化土壤的结构状况和退化程度,可以作为退化土壤结构评价的一项综合指标^[12]。同时各项研究表明分形维数在研究土壤结构方面的应用非常广泛^[5-6]。

平均重量直径提出的时间较早,且计算方便,但是平均重量直径增加值是反映土壤团聚体中大粒径团聚体含量的增加,并不能反映土壤质地及其它的性质,表示的意义比较单一。Van Bavel (1949) 就已经提出将平均重量直径当作土壤团聚体分布的指标,对于黄土高原地区植被恢复会增加土壤团聚体平均重量直径已经有了报道。刘国彬研究指出植被的建造可以显著改善土壤结构,增加土壤水稳性团聚体数量与质量。退耕3, 8, 20 a 及子午岭百年永久草地,在0—50 cm 土层, >0.25 mm 团聚体平均重量直径分别由1.52 mm 增加到3.12, 3.14, 3.56 和 3.84 mm。在团聚体组成上,植被 >5 mm 及 $5\sim 2$ mm 粒级团聚体的比例,且随着植被恢复的时间进程而逐步提高,恢复的时间愈长,大粒级与小粒级增长量的差异愈小^[13]。但是 Hamblin 发现免耕会导致平均重量直径变得更小,这可能

与土壤利用方式和土壤本身的质地有关^[14]。

分形维数改善了平均重量直径的不足,不仅表达较粒径分布明确,计算更为简单,而且团聚体分形维数还反映质地均一程度、土壤通透性和抗蚀性以及土壤肥力^[15],因此应用范围较广泛,表达意义和功能较多,是较为合理的土壤性质和功能的表达方式。分形维数适合土壤学中很多性质的表达,现在主要应用于团聚体和颗粒;应该加强它的研究,应用于水分和孔性等多方面的研究。

[参 考 文 献]

- [1] Yoder R E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion loess [J]. Journal of the American Society of Agronomy, 1936, 28:337-351.
- [2] Van Bavel C H M, Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation[J]. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1994, 14:20-23.
- [3] 安韶山,张扬,郑粉莉. 黄土丘陵区土壤团聚体分形特征及其对植被恢复的响应[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(2):66-70.
- [4] 谢锦升,杨玉盛. 植被恢复对退化红壤团聚体稳定性及碳分布的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(2):702-709.
- [5] 曾宪勤,刘和平,路炳军. 北京山区土壤粒径分布分形维数特征[J]. 山地学报, 2008, 26(1):65-70.
- [6] 杨金玲,李德称,张甘霖. 土壤颗粒粒径分布质量分形维数和体积分形维数的对比[J]. 土壤学报, 2008, 45(3):413-419.
- [7] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室. 土壤物理性质测定法[M]. 北京:科学出版社,1978:77-88.
- [8] 杨培岭,罗远培,石元春. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J]. 科学通报,1993, 38(20):1896-1899.
- [9] 陈秉聪,佟金. 土壤分形与土壤粘附[J]. 世界科技研究与发展, 1999, 21(2):34-36.
- [10] 丁文峰,丁登山. 黄土高原植被破坏前后土壤团粒结构分形特征[J]. 地理研究, 2002, 21(6):700-706.
- [11] 梁向锋,赵世伟,华娟,等. 子午岭林区典型植被下土壤结构及稳定性指标分析[J]. 水土保持通报, 2008, 28(3):12-16.
- [12] 宫阿都,何毓蓉. 金沙江干热河谷区退化土壤结构的分形特征研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3):112-115.
- [13] 刘国彬. 黄土高原草地植被恢复与土壤抗冲性形成过程: 植被恢复对土壤腐殖质物质及水稳性团聚体的影响[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(1):93-96.
- [14] Hamblin A P. Changes in aggregate stability and associated organic carbon properties after direct drilling plowing on some Australian soils[J]. Aust. J. Soil. Sci., 1980, 18:27-36.
- [15] 王玉杰,王云琦,夏一平,等. 鲁中山区采取不同生态修复措施时的土壤粒径分形与孔隙结构特征[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(2):73-80.