

黄土高原丘陵沟壑区土地利用方式对土壤团聚体特征的影响

李娟^{1,2}, 韩霖昌¹, 陈超¹, 叶胜兰¹, 李劲彬¹

(1. 陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 西安 710075; 2. 西北农林科技大学林学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为研究黄土高原丘陵沟壑区复垦土地在不同利用方式下对土壤团聚体的影响, 以陕西延安南泥湾沟壑区退化耕地整治复垦后, 5种不同的土地利用方式, 分别为林地(F处理), 水稻(R处理), 玉米(M处理)、蔬菜(V处理)及荒地(CK处理)。测定分析干筛法和湿筛法 0—40 cm 土层土壤 >0.25 mm 团聚体分布、平均重量直径(MWD)、几何平均直径(GMD)、团聚体破坏率(PAD)和分形维数(D)。结果表明: (1)各处理在 0—40 cm 各土层土壤团聚体数量及大小均显著优于 CK 处理, 各处理干筛下 0—40 cm 土层 >0.25 mm 团聚体含量($DR_{0.25}$)和湿筛下该团聚体含量($WR_{0.25}$)随着土壤土层深度的增加呈现相反的趋势; (2)干筛法和湿筛法 0—40 cm 土层各处理土壤平均重量直径(MWD)和几何平均直径(GMD)的平均值大小顺序均呈现 F 处理>R 处理>M 处理>V 处理>CK 处理, F 处理和 R 处理对增加土壤团聚体较其它处理效果显著; (3)湿筛法分析表明, 各处理土壤团聚体破坏率(PAD)在 0—40 cm 土层内均表现出近似“Z”字形趋势, 各处理显著低于 CK; (4)各处理的分形维数(D)在 0—40 cm 土层平均值大小顺序为 F 处理<R 处理<M 处理<V 处理<CK 处理。土壤分形维数(D)与干筛法和湿筛法下 0—40 cm 土层 >0.25 mm 团聚体含量之间存在良好的线性关系, 分别为 $R^2=0.73$ 和 $R^2=0.80$ 。林地和水稻田利用方式可有效提高土壤团聚体数量和质量, 增加土壤稳定性和改善土壤结构。

关键词: 黄土高原; 土壤团聚体; 平均重量直径; 几何平均直径; 分形维数

中图分类号: S157.4; S152.4

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)01-0248-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2017.01.041

Effects of Land Use Types on Soil Aggregate Characteristics in Hilly-gully Region of Loess Plateau

LI Juan^{1,2}, HAN Jichang¹, CHEN Chao¹, YE Shenglan¹, LI Jinbin¹

(1. Shaanxi Province Land Engineering Construction Group, Xi'an 710075;

2. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: The effects of reclaimed land on soil aggregates under different land use patterns in the hilly-gully regions of Loess Plateau were studied to provide the scientific basis for improving soil stability and productive performance of reclaimed land. Five different land use types after reclamation of degraded cultivated land, included forestland (F treatment), rice (R treatment), maize (M treatment), vegetable (V treatment) and wasteland (CK treatment), were studied in the Nanniwan gully area of Yan'an, Shaanxi Province. The mean weight diameter (MWD), geometric mean diameter (GMD), aggregate processing damage rate (PAD) and fractal dimension (D) of >0.25 mm aggregates in wet sieve method and dry sieve of 0—40 cm soil layer soil were measured. The results showed that: (1) The number and size of soil aggregates in 0—40 cm soil layer were significantly better than those in CK treatment. The content of >0.25 mm aggregate ($DR_{0.25}$) and ($WR_{0.25}$) in 0—40 cm soil layer showed the opposite trend with the increase of soil depth. (2) The order of mean weight diameter (MWD) and geometric mean diameter (GMD) of soil treated by dry sieve method and wet sieve method was F treatment>R treatment>M treatment>V treatment>CK treatment, F treatment and R treatment on soil aggregates increased significantly than other treatments. (3) The results of wet sieve analysis showed that the PAD of soil aggregates in 0—40 cm soil layer showed similar Z-shaped trend, and

收稿日期: 2015-08-12

资助项目: 国家科技支撑计划项目(2014BAL01B03)

第一作者: 李娟(1986—), 女, 博士研究生, 主要从事旱区农业生态研究。E-mail: lijuan8136@163.com

通信作者: 韩霖昌(1966—), 男, 博士, 研究员, 主要从事土地整治工程技术研究。E-mail: kele502514@163.com

the treatments were significantly lower than CK. (4) The fractal dimension (D) of each treatment was in the order of F treatment < R treatment < M treatment < V treatment < CK treatment in 0—40 cm soil layer. There was a good linear relationship between the soil fractal dimension (D) and the content of aggregates in 0—40 cm soil layer under dry and wet sieving methods, $R^2=0.73$ and $R^2=0.80$, respectively. The utilization of soil in forest and rice fields could improve the quantity and quality of soil aggregates effectively, increase soil stability and improve soil structure.

Keywords: Loess plateau; soil aggregate; mean weight diameter (MWD); geometric mean diameter (GMD); fractal dimension

土壤团聚体是土壤结构的基本组成单元,是土壤侵蚀过程中土壤分离、搬运、板结及压实等过程与作用的关键指标之一,是土体安全、土壤质量和健康的重要评价指标^[1]。土壤团聚体稳定性主要分为机械稳定性、水稳定性和生物稳定性^[2]。一般将其稳定性的指标用来表征土壤结构的优劣,并且与水分的运动、保持和作物根系的生长都相关,也是有机质的载体^[3]。现阶段,土地开发整理后,不同土地利用方式下的土壤团聚体水稳性和水稳性土壤团聚体分布备受关注,其主要影响土地质量的改良和恢复。土壤团聚体水稳性大小通常以土壤水稳性团聚体平均重量直径、几何平均直径以及>0.25 mm 土壤水稳性团聚体质量分数作为表征指标,其值越大,表明团聚体稳定性越好^[4]。许多学者研究表明,林地的土壤团聚体平均重量直径、几何平均直径和>0.25 mm 团聚体质量分数显著高于耕地团聚体指标,如刘艳等^[5]、文星等^[6]研究表明,大团聚体含量随着土层的增加而减小。目前多数研究集中于退耕还林或是不同人工林种植下的土壤质量差异,如不同人工林内植被、土壤、生态效应及生态功能等研究^[7-8]。对于土地整理后多种土地利用方式下土壤团聚体稳定性的分布特征等方面研究有待进一步加强。

延安南泥湾属于黄土高原沟壑区,自然资源丰富,由于受自然条件和经济条件的影响,南泥湾所属的阳湾沟、九龙泉沟2条沟道内大量耕地荒芜,通过对这些荒地开垦及整理,土地利用方式发生了很大的变化。本研究以林地、水稻田、玉米田、蔬菜田和荒地研究对象,探讨土地整理及利用方式发生变化后,土壤团聚体的分布和稳定性变化,为提高黄土高原沟壑区土壤质量、稳定性及土壤抗蚀能力等提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区选择在距离延安市48 km的南泥湾镇。区域地貌以黄土塬、梁、峁、沟壑为主,沟道树枝状空间分布的特征明显。其区域共涉及6个沟道,其中仅阳湾沟、九龙泉沟2条沟道长度达到21 km,河道海拔自西向东由1 190 m降至1 095 m,平均比降0.95%。气候

属于温带季风气候区,降雨时空分布不均,多年平均降水量573 mm。土壤发育在黄土田质和页岩母质上,剖面层明显,质地轻壤或中壤。由于当地自然条件和经济条件影响,大量的耕地被雨水毁坏及荒芜。2011年9月,国家大力开展治沟造地工程,对此地进行开发整理,修筑梯田、排水沟等设施,恢复及确保耕地质量和安全,于2012年9月完成整理复垦。对恢复耕地进行划块使用,主要利用方式包括林地、玉米田、水稻田和蔬菜田等,土壤类型均为灰褐土,由于耕作条件不足,区域内存在少量荒地。在项目区域选择上述5种不同利用方式的田块进行标记,每种标记3块,且标记田块每年只施1次肥,施肥量相同。

1.2 土壤样品采集与处理

2015年9月在南泥湾土地整治区采集土壤样品。采集不同土地利用方式下定位试验田土壤团聚体样品,即林地(F)、水稻田(R)、玉米田(M)、蔬菜田(V)和未利用地(CK)。每种利用方式采3块田,每块田采用“S”型布5个点,取样深度为0—40 cm,取样间隔为10 cm,保留土样2 kg,总共75个土壤样品。将土壤样品带回实验室,置于通风阴凉处自然风干,待测。

1.3 研究方法

1.3.1 土壤团聚体数量及大小测定 原状土样自然风干后除去粗根及小石块,并将大土块按自然裂痕剥离为1 cm³左右。然后对风干土样分土,将每个土样过5 mm和2 mm的筛子,分为>5 mm,5~2 mm,<2 mm的3个级别,然后按各级别土样所占原状土样比例称取各土样重量混合形成200 g(W_T)。分别用干筛法和湿筛法测定团聚体水稳性和水稳定相关指标。

1.3.2 数据计算 利用各粒级团聚体数据,计算>0.25 mm 团聚体 $R_{0.25}$ 、平均重量直径(MWD)、平均几何直径(GWD)和土壤团聚体破坏率(PAD)等参数指标。

$$W_n = \frac{W_{dn} \text{ 或 } W_{wn}}{200} \times 100\% \quad (1)$$

$$R_{0.25} = \sum_{n=1}^i (W_n) \quad (2)$$

$$MWD=\sum_{n=1}^i(\overline{X_n}\times W_n)$$

(3)

$$GWD=\sum_{n=1}^i(\overline{X_n}\times W_n)$$

(4)

式中: $R_{0.25}$ 为直径 $>0.25\text{ mm}$ 团聚体的含量;MWD 为团粒平均重量直径(mm);GMD 为团粒几何平均直径(mm); X_n 为任一级别范围内团聚体的平均直径(mm); W_n 为 n 粒级团聚体质量所占的比例,干筛(W_{dn})和湿筛法(W_{wn})均可计算。

$$WSAR=WSA/MSA\times 100\%$$

(5)

$$PAD=(DR_{0.25}-WR_{0.25})/DR_{0.25}\times 100\%$$

(6)

式中:WSAR 为水稳性团聚体稳定率;WSA 为 $>0.25\text{ mm}$ 水稳性团聚体的质量(g);MSA 为 $>0.25\text{ mm}$ 力稳性团聚体的质量(g);PAD 为团聚体破坏率(%); $DR_{0.25}$ 为 $>0.25\text{ mm}$ 机械稳定性团聚体含量(%); $WR_{0.25}$ 为 $>0.25\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量(%)。

分形维数(D)^[9]的计算公式为:

$$\frac{M(r<\overline{X_n})}{M_t}=(\frac{\overline{X_n}}{X_{\max}})^{3-D}$$

(7)

式中: $M(r<X_n)$ 为粒径小于 X_n 的团聚体的重量(g); M_t 为团聚体总重量(g); $X_{\max}$ 为团聚体的最大粒径(mm)。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2010 对数据、图表进行处理,采用 SPSS(PASW Statistics 18)统计分析软件对数据进行统计分析,并使用 Duncan 新复极差法

(SSR)进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 土地利用方式对土壤团聚体数量的影响

土地利用方式对土壤团聚体含量有一定影响。干筛法得到抗机械力分散的力稳定性团聚体,这些力稳定性团聚体包括非水稳性团聚体和水稳性团聚体,湿筛法得到抗水力分散的水稳定性团聚体。通过干筛和湿筛法得到 $>0.25\text{ mm}$ 的团聚体比例如表 1 所示。各处理干筛法下得到的 $>0.25\text{ mm}$ 团聚体含量($DR_{0.25}$)为 44.6%~70.9%。整体分析看,在 0—40 cm 土层内,各处理 $DR_{0.25}$ 平均含量显著高于 CK,增加幅度为 2.5%~31.5%;各处理平均 $DR_{0.25}$ 大小顺序为 F 处理 $>$ R 处理 $>$ M 处理 $>$ V 处理。在 0—20 cm 土层,各处理与 CK 差异显著($P<0.05$),且各处理 $DR_{0.25}$ 含量均随土层的加深呈增加趋势。湿筛法处理得到的各处理 $>0.25\text{ mm}$ 团聚体含量($WR_{0.25}$)远低于干筛法得到的值,为 4.1%~13.2%,说明该土地整治后,土壤团聚体主要以机械稳定性团聚体为主。分析表明,不同的土地利用方式,各处理 $WR_{0.25}$ 含量均呈现随着土层增加而减少的趋势,且其他处理与 CK 间差异显著($P<0.05$),各处理平均 $WR_{0.25}$ 大小顺序为 F 处理 $>$ R 处理 $>$ M 处理 $>$ V 处理 $>$ CK 处理。

表 1 不同土地利用方式下 0—40 cm 土层干筛法获得的 $>0.25\text{ mm}$ 土壤团聚体数量 单位: %

指标	处理	土层深度/cm				平均值
		0—10	10—20	20—30	30—40	
机械稳定性 团聚体	F	67.03aA	67.36aA	69.21aA	70.89aA	68.62aA
	R	60.81bB	62.11bB	63.69bB	68.86bB	63.87bB
	M	55.28cC	57.46cC	64.67bB	66.63cC	61.01bB
	V	48.4dD	52.87dD	54.51cC	58.00dD	53.45cC
	CK	44.56eE	51.71eD	53.98cC	58.41dD	52.17cC
水稳定性 团聚体	F	13.21aA	10.16aA	8.79aA	7.65aA	9.95aA
	R	10.58bB	7.99bB	6.02bAB	5.97bB	7.64abAB
	M	9.21bcBC	7.59bB	6.31bAB	5.78bB	7.22bcAB
	V	8.34cdBC	6.99bB	5.34bcB	4.98cBC	6.41bcAB
	CK	7.14dC	5.38cC	4.34cB	4.12cC	5.25cB

注:(机械/水)稳定性团聚体指土壤中干筛/湿筛 $>0.25\text{ mm}$ 的团聚体数量;同列不同大、小写字母分别表示处理间差异极显著($P<0.01$)和显著($P<0.05$)。下同。

2.2 土地利用方式对土壤团聚体大小的影响

从团聚体平均重量直径来看,各处理干筛下团聚体平均重量直径(DWMD)和几何平均直径(DGMD)远远高于湿筛下水稳性团聚体平均重量直径(WMWD)和几何平均直径(WGMD)(表 2),主要是由于供试土壤的团聚体大部分为非水稳性团聚体。干筛法和湿筛法处理下各处理土壤 MWD 平均值和 GMD 平均值大小顺序均呈现 F 处理 $>$ R 处理 $>$ M 处理 $>$ V 处理 $>$ CK 处理,且其他处理与 CK 处理之间差异均显著($P<0.05$)。

在 10—20 cm 和 20—30 cm 2 个土层内,各处理 MWD 和 GMD 值均与 CK 处理差异显著($P<0.05$),并且各处理土壤 MWD 和 GMD 值均随着土层的加深而增大。湿筛下 0—40 cm 各土层各处理土壤 MWD 和 GMD 值呈现与干筛法相反的趋势,即均随土层的加深呈下降趋势。在 0—40 cm 土层均以 F 处理土壤 MWD 和 GMD 值最大。R 处理次之。在 0—40 cm 土层内,F 处理、R 处理、M 处理和 V 处理土壤 MWD 平均值较 CK 增加显著,增加幅度为 12.3%~38.8%;土壤 GMD 增加幅度为 4.3%~24.7%。平均重量直径(MWD)和平均

几何直径(GMD)是反映土壤团聚体大小分布状况的常用指标,MWD 和 GMD 值越大,表示团聚体的平均

粒径团聚度越高,稳定性越强,即自然林和水稻田有助于增加土壤团聚体,提高土壤稳定性。

表 2 不同土地利用方式下土壤团聚体平均重量直径(MWD)和几何平均直径(GMD) 单位:mm

方法	指标	处理	土层深度/cm				平均值
			0—10	10—20	20—30	30—40	
干筛法	MWD	F	5.55aA	5.78aA	5.82aA	6.14aA	5.82aA
		R	4.61aA	4.71bB	4.92bB	5.55bA	4.95bA
		M	2.87bB	3.73cC	3.78cC	3.82cB	3.55cB
		V	2.32bB	2.97dD	3.23dCD	3.29cdB	2.98cdB
		CK	1.80bB	2.40eE	2.89dD	3.28dB	2.59dB
	GWD	F	3.64aA	3.92aA	4.11aA	4.72aA	4.10aA
		R	2.55bB	2.77bB	2.86bB	3.83bA	3.00bB
		M	0.94cC	1.61cC	1.79cC	1.82cB	1.54cC
		V	0.75cC	1.04dD	1.42cdC	1.76cB	1.24dD
		CK	0.86cC	1.22dD	1.38dC	1.48cB	1.23dD
湿筛法	MWD	F	0.25aA	0.20aA	0.19aA	0.17aA	0.20aA
		R	0.20bB	0.18abAB	0.17aA	0.13aA	0.17bB
		M	0.20bcB	0.19abcAB	0.18aA	0.16abA	0.18bcB
		V	0.19bcB	0.18bcAB	0.15aA	0.15abA	0.17bcB
		CK	0.17cB	0.16cB	0.14aA	0.13bA	0.15cB
	GWD	F	0.19aA	0.17aA	0.14aA	0.14aA	0.16aA
		R	0.15bB	0.14bB	0.14aA	0.13aA	0.14aA
		M	0.14cBC	0.14bBC	0.13aA	0.13aA	0.14aA
		V	0.14cC	0.13cC	0.13abA	0.13aAB	0.13aA
		CK	0.13cC	0.13cC	0.13bA	0.11bB	0.13aA

2.3 土地利用方式对土壤团聚体稳定性的影响

不同土地利用方式下土壤水稳性团聚体稳定率(W SAR)和团聚体破坏率(PAD)在 0—40 cm 土层内呈现的趋势见图 1。各处理下土壤水稳性团聚体稳定率(W SAR)呈现随着土壤深度的增加而减小,土壤团聚体破坏率(PAD)则随着土壤深度的增加而增加。在 0—40 cm 土层,F 处理、R 处理、M 处理和 V 处理土壤 W SAR 平均值较 CK 差异显著($P<0.05$),水稳性团聚体平均稳定率增加幅度为 21.2%~284.9%;在 0—20 cm 土层内,F 处理土壤 W SAR 值最大,且与其他处理差异显著,稳定性提高幅度为

16.5%~196.0%;在 20—40 cm 土层内,各处理土壤 W SAR 值大小顺序为 F 处理>R 处理>M 处理>V 处理>CK 处理。在 0—40 cm 土层,F 处理、R 处理和 V 处理和 M 处理土壤 PAD 平均值较 CK 差异显著($P<0.05$),各种处理下土壤 PAD 平均值分别为 85.4%,87.9%,87.8%,87.7%,89.6%。

通过分析 3 项土壤稳定性指标与 $WR_{0.25}$ 的关系可看出, $WR_{0.25}$ 同二者呈显著相关($P<0.05$),即表明 $WR_{0.25}$ 越高,土壤团聚体稳定性越强,土壤结构越稳定,以林地对土壤结构的改善作用最佳,水稻次之。

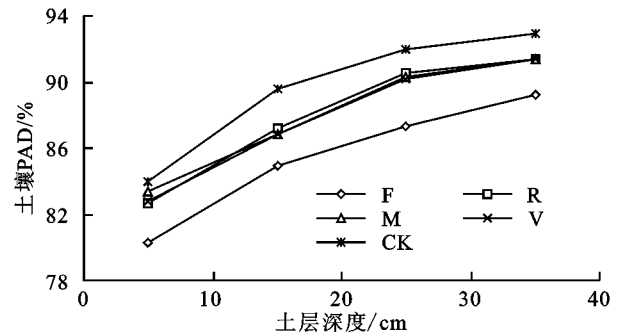
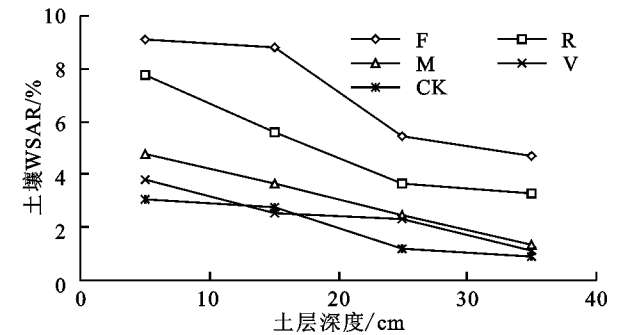


图 1 不同土地利用方式下团聚体稳定性及团聚体破坏率

2.4 土地利用方式对土壤团聚体分形特征的影响

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力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。利用公式(7)对团聚体干筛和湿筛数据进行了拟合计算,求得分形维数(D)值,图 2 为 5 种不同处理土壤团聚体的分形维数在 0—40 cm 土层剖面上的分布图。在 0—40 cm 土层,干筛法各种处理的土壤团聚体分形维数随着土层深度的增加而减小,

且表现趋势一致,土壤团聚体分形维数分布范围为 1.93~2.62,各处理的 D 平均值大小顺序为 F 处理 < R 处理 < M 处理 < V 处理 < CK 处理,且各处理与 CK 处理间差异显著 ($P < 0.05$),稳定性提高幅度为 2.5%~14.3%。图 2(B)显示了水稳性团聚体的分形维数,综合分析表明,在不同土地利用方式下土壤

0—40 cm 土层,湿筛法各种处理的土壤团聚体分形维数与干筛法所得到的结果呈相反趋势,即各处理均表现为随着土层深度的增加而增加,呈现“Z”字形趋势。在 0—40 cm 土层,F 处理分形维数值最小(2.97),且与其他处理差异不显著 ($P < 0.05$),其次为 R 处理(2.98),CK 处理最高(2.99)。

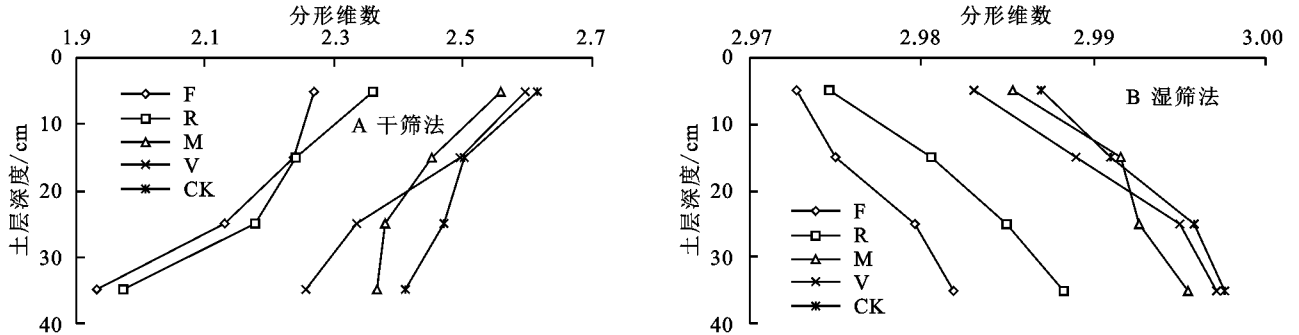


图 2 不同土地利用方式下土壤团聚体分形维数

2.5 分形维数与 $DR_{0.25}$ 和 $WR_{0.25}$ 的关系

综合分析 $DR_{0.25}$ 和 $WR_{0.25}$ 同分形维数之间的关系发现,二者与各自的分形维数间均呈显著负相关 ($P < 0.05$) (图 3),即表明土壤分形维数均随着 $DR_{0.25}$ 和 $WR_{0.25}$ 的增大而逐渐减小, $DR_{0.25}$ 和 $WR_{0.25}$ 的增大可有利于降低土壤的黏重程度,达到改善土壤结构。

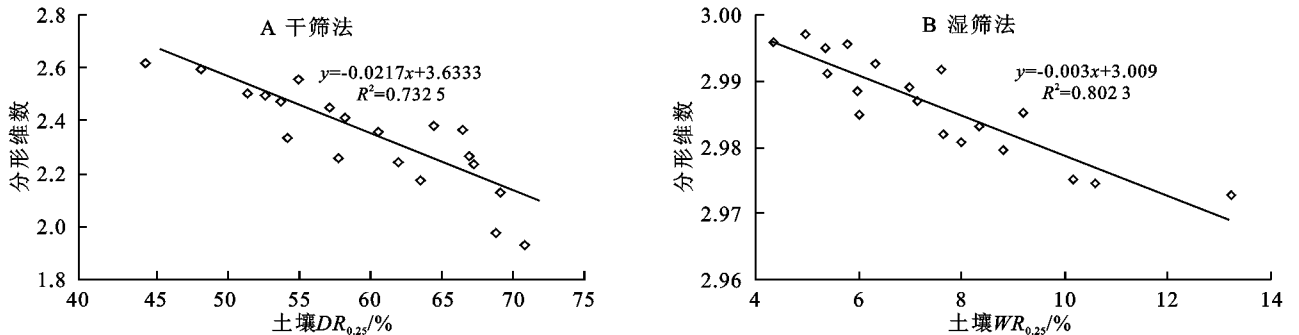


图 3 土壤团聚体分形维数与 >0.25 mm 土壤团聚体含量的相关性

3 讨论

3.1 土地利用方式对土壤团聚体数量的影响

土壤团聚体结构会对土壤质量产生至关重要的影响,其数量的多少决定了土壤蓄水保墒、储存养分及抗侵蚀等能力的高低^[10]。土壤团聚体组成及其基本特性是决定土壤侵蚀、压实、板结等物理过程与作用的关键指标之一^[11]。>0.25 mm 团聚体含量也是定量评价土壤结构体的一个重要指标,其含量一般与土壤结构稳定性及肥力状况呈正相关,>0.25 mm 水稳性团聚体含量越高说明土壤抗蚀性越好^[12]。本研究结果表明:在 0—40 cm 土层内,各处理 $DR_{0.25}$ 和 $WR_{0.25}$ 含量显著高于 CK,各处理平均 $DR_{0.25}$ 和 $WR_{0.25}$ 大小顺序均为 F 处理 > R 处理 > M 处理 > V 处理。南泥湾荒地开发整理后变为林地之后对改善 0—40 cm 土层土壤团聚体分布和

干筛法土壤分形维数(y)与土壤 $DR_{0.25}$ (x)之间存在良好的线性关系,且 $R^2 = 0.73$;湿筛法土壤分形维数(y)与土壤 $WR_{0.25}$ (x)之间也存在较好的线性关系,且 $R^2 = 0.80$ 。>0.25 mm 土壤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。

数量具有显著作用,分析原因主要是由于荒地开发整理后,首先地表枯落物较之前明显增加,即增加了土壤表层有机质的来源,并且有效的促进了土壤颗粒之间的胶结作用,使土壤中大团聚体含量显著增加;其次,由于地表覆盖物的增加,可增加表层土壤入渗率,有效的防止了雨滴对土壤团聚体的冲击,从而也有利于大团聚体的形成和保持^[13-14]。水稻田、玉米田和蔬菜田主要是通过种植作物的根部生长与土壤微生物作用而形成的团粒结构。

3.2 土地利用方式对土壤团聚体大小及分布的影响

许多学者利用土壤团聚体平均重量直径和几何平均直径研究土壤团聚体特征,研究结果表明土壤团聚体平均重量直径和几何平均直径越大,土壤团聚体越稳定。本研究表明干筛下团聚体平均重量直径(DMWD)和几何平均直径(DGMD)远远高于湿筛下

水稳性团聚体平均重量直径(WMWD)和几何平均直径(WGMD),这主要是由于供试土壤的团聚体大部分为非水稳性团聚体。干筛法和湿筛法处理下各处理土壤 MWD 平均值和 GMD 平均值大小顺序均呈现 F 处理>R 处理>M 处理>V 处理>CK 处理,且其它处理与 CK 处理之间差异均显著($P<0.05$)。林地各土层土壤平均重量直径和几何平均直径显著高于耕地利用方式,这与张曼夏等^[15]研究结果一致,荒地变为林地之后,枯叶和植物根系在土壤团聚体构成过程中起到了粘合剂的作用,使稳定性团聚体数量增加,同时,林地土壤中大量的死根在分解过程中改善了土壤结构,也增加了团聚体的稳定性^[16-17]。水稻田次之主要是由于其根系作用及水稻花的降落,与水中微生物的结合,较玉米田和蔬菜田可有效提高土壤团聚体含量^[18-19]。在以后土地整理以后,土壤结构脆弱,可前期种植林地和水稻田,以期提高土壤养分及结构,后可转换作为耕地。

3.3 土地利用方式对土壤团聚体稳定性的影响

土壤水稳性团聚体稳定率(WSAR)和团聚体破坏率(PAD)可以较好的反映土壤结构的稳定性。WSAR 值越高,说明土壤结构越稳定;PAD 值越高,说明土壤结构越不稳定,也表明退化程度增加^[20]。土地整理开发后,不同土地利用方式都较好的提高了土壤团聚体稳定性,呈现林地土壤团聚体稳定性显著增加,0—40 cm 土层土壤平均 WSAR 为 6.31%,水稻田次之;各不同土地利用方式下土壤水稳性团聚体稳定率显著高于 CK。通过土地利用方式的改变,土壤团聚体破坏率总体呈现减少趋势,且不同土地利用方式下,土壤团聚体破坏率随土层增加呈现增加趋势,各处理下 0—40 cm 土壤团聚体平均破坏率较 CK 降低 2.1%~4.7%,各处理间差异显著。林地土壤稳定性高主要是由于土壤有机质提高及植物根系的有效作用等综合作用的结果,水稻田主要是由于土体处于淹水条件下,即土壤团聚体本身具备抵抗水破坏的能力,而玉米田和蔬菜田是长期处于较干旱状态,若遇水侵蚀,则较容易遭受破坏^[21]。所以水稻田土壤水稳性团聚体稳定率(WSAR)和团聚体破坏率(PAD)优于玉米田及蔬菜田。分形维数是反映土壤结构的新型评价指标,不仅能够表达土壤颗粒大小及分布,且反应土壤质地的均匀程度;其值越高,土壤稳定性越差;其值越小,土壤结构越好^[15]。本研究表明,在 0—40 cm 土层内,干筛法各种处理的土壤团聚体分形维数随着土层深度的增加而减小,且表现趋势一致,0—40 cm 土层土壤团聚体分形维数分布范围为 1.93~2.62。干筛法各处理下土壤 D 值随土层深度增加而减小,湿筛法则呈现相反趋势,且呈现“Z”字形趋势,这与李涵等^[22]

研究结果相似。土壤分形维数(y)与土壤 $R_{0.25}(x)$ 之间存在一定的线性关系,干筛法和湿筛法处理下相关系数分别为 $R^2=0.73$ 和 $R^2=0.80$ 。

4 结论

(1)通过土地开发整理,对荒地重新规划及种植作用,都有利于土壤结构和质量的改善。

(2)通过对不同土地利用方式下 0—40 cm 土层,土壤团聚体稳定性参数如 >0.25 mm 团聚体含量、MWD 和 GMD 等的分析结果表明,林地利用方式可显著提高土壤结构及稳定性,其他处理较 CK 处理改善较明显。

(3) >0.25 mm 团聚体含量与土壤分形维数之间表现出极显著($P<0.05$)线性关系,说明干筛法和湿筛法处理下, >0.25 mm 团聚体含量对土壤稳定性起重要作用。

(4)不同土地利用方式对荒地土壤稳定性都有一定的改善,以林地改善效果最优,水稻田次之。

参考文献:

- [1] 丁启朔.耕作力学研究的土壤结构及其评价方法[D].南京:南京农业大学,2006.
- [2] 卢金伟,李占斌.土壤团聚体研究进展[J].水土保持研究,2002,9(1):81-85.
- [3] 袁新田,焦加国,朱玲,等.不同秸秆施用方式下接种蚯蚓对土壤团聚体及其中碳分布的影响[J].土壤,2011,43(6):968-974.
- [4] 魏艳春,马天娥,魏孝荣,等.黄土高原旱地不同种植系统对土壤水稳性团聚体及碳氮分布的影响[J].农业环境科学学报,2016,35(3):305-313.
- [5] 刘艳,查同刚,王伊琨,等.北京地区栓皮栎和油松人工林土壤团聚体稳定性及有机碳特征[J].应用生态学报,2013,2(3):607-613.
- [6] 文星,张洪江,王伟,等.重庆四面山不同林地土壤团聚体特征[J].水土保持学报,2010,24(4):192-197.
- [7] 史长婷,王恩姐,陈祥伟.黑土区落叶松人工林土壤团聚体有机碳及动态变化[J].水土保持学报,2010,24(5):208-212.
- [8] 梁文俊.华北土石山区典型林分健康经营技术基础研究[D].北京:北京林业大学,2013.
- [9] 赵红,袁培民,吕贻忠,等.施用有机肥对土壤团聚体稳定性的影响[J].土壤,2011,43(2):306-311.
- [10] 邱莉萍,张兴昌,张晋爱.黄土高原长期培肥土壤团聚体中养分和酶的分布[J].生态学报,2006,26(2):364-372.
- [11] Zhang G S, Chan K Y, Oates A, et al. Relationship between soil structure and run off soil loss after 24 years of conservation tillage[J]. Soil and Tillage Research, 2007,9(2):122-128.
- [12] 周纯亮,吴明.中亚热带 4 种森林土壤团聚体及其有机碳分布特征[J].土壤,2011,43(3):406-410.