

庐山不同森林植被对土壤团聚体及其有机碳分布的影响

于法展, 张茜, 张忠启, 李玲, 雷良媛, 张少坤, 陈俊

(江苏师范大学 城市与环境学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 研究不同粒径团聚体有机碳含量与土壤团聚体分布的关系, 对于认识森林土壤结构形成和碳氮稳定机制有一定的科学意义。以庐山 6 种森林植被类型土壤为研究对象, 系统研究了不同森林植被对土壤团聚体及其有机碳分布的影响, 结果表明: (1) 不同土层的森林植被类型对粒径在 $>5\text{ mm}$ 和 $0.25\sim0.5\text{ mm}$ 范围内的土壤团聚体含量影响较明显, 其中黄山松林下土壤团聚体含量最高; (2) 6 种森林植被在不同的土层下, 水稳性团聚体百分含量 ($R_{0.25}\%$) 和平均重量直径 (MWD) 随着土层深度的增加而逐渐减小, 其土壤团聚体的稳定性也随之减弱, 在 $0\sim20\text{ cm}$ 土层下的土壤团聚体较稳定, 黄山松林、马尾松林和玉山竹林下 MWD 值较大, 在 $20\sim40$ 、 $40\sim60\text{ cm}$ 土层差异则不明显; (3) 在同一土层下黄山松林的土壤团聚体有机碳含量最大, 常绿阔叶林最小, 马尾松林、玉山竹林和黄山松林的土壤团聚体有机碳变化较明显, 而其他 3 种差异不显著。

关键词: 森林植被类型; 水稳性团聚体; 土壤团聚体有机碳; 庐山

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)06-0015-05

Effects of Different Types of Forest Vegetation on the Distribution of Soil Aggregate and Its Organic Carbon in Lushan Mountain

YU Fazhan, ZHANG Qian, ZHANG Zhongqi, LI Ling, LEI Liangyuan, ZHANG Shaokun, CHEN Jun

(College of Urban and Environmental Sciences, Jiangsu Normal University, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

Abstract: The formation mechanism and the stability of soil aggregate can be illustrated through the study on the relationship between organic carbon contents in different diameters of soil aggregates and the distribution of soil aggregate. Taking the soils in the six types of forest vegetation in Lushan as research samples, the effects of different types of forest vegetation on the distribution of soil aggregate and its organic carbon were systematically investigated. The results show that there is an obvious influence on the content of soil aggregate which diameter is greater than 5 mm or the range of $0.25\sim0.5\text{ mm}$, caused by forest vegetation type in the different soil layers. Among them, the highest amount of soil aggregate content is detected in the *Pinus taiwanensis* forest. With the increase of soil depth, the percentage content and mean weight diameter of water stable aggregate in the six forest vegetation types under the different soil layers gradually decrease and so does the stability of soil aggregate. The soil aggregate is relatively stable in the $0\sim20\text{ cm}$ soil layer and the mean weight diameters in *Pinus taiwanensis* forest, *Pinus massoniana* forest and *Yushania chungii* forest are larger, while the difference is not obvious in the $20\sim40$, $40\sim60\text{ cm}$ soil layers. Compared with others, it is found that the *Pinus taiwanensis* forest's organic carbon content in aggregate is the largest and the evergreen broad-leaved forest is the least. The changes of organic carbon contents have significantly taken place in *Pinus taiwanensis* forest, *Pinus massoniana* forest and *Yushania chungii* forest, while the changes of organic carbon contents are not evident in the other three types.

Keywords: forest vegetation types; water stable aggregate; soil aggregate organic carbon; Lushan Mountain

土壤团聚体是在干湿冻融交替等自然物理过程的作用下, 矿物颗粒和有机物形成的不同尺度的多孔结构体, 它是土壤结构的重要物质基础和肥力的重要载体, 是土壤养分的贮存库和各种微生物的生存环境^[1]。

粒径 $>0.25\text{ mm}$ 土壤水稳性团聚体百分含量 ($R_{0.25}\%$) 和平均重量直径 (MWD) 可以作为衡量土壤团聚体水稳性的指标。土壤团聚体组成及稳定性直接影响土壤理化性质, 对植物的生长及土壤生态系统的稳定形

成有一定影响^[2]。国外对土壤团聚体的研究,近年来大多集中在热带和温带地区,主要针对不同土地管理方式以及土壤中的有机质对土壤团聚体的影响^[3-5];国内的研究主要有植被恢复、不同施肥处理以及侵蚀地对土壤团聚体有机碳的影响,但较多的是关于土地利用变化对土壤团聚体影响等方面^[6-8]。植被覆盖是通过其输入有机物料的差异影响着土壤养分和微生物活性,进而对其土壤团聚过程及有机碳矿化过程造成一定影响。因此,不同植被类型对土壤团聚体及其有机碳分布的影响备受关注。本文以庐山 6 种主要森林植被(马尾松林、玉山竹林、常绿—落叶阔叶混交林、落叶阔叶林、常绿阔叶林、黄山松林)下土壤为研究对象,采用湿筛法对土壤团聚体组成及其有机碳含量进行分析,以期获得对不同森林植被类型下土壤团聚体及其有机碳分布特征的系统认识,为摸清该地区森林土壤结构形成及其碳氮稳定机制提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 研究区自然概况

庐山地处东经 115°50′—116°10′,北纬 29°28′—30°53′,位于长江中下游鄱阳湖平原西北部,总面积 302 km²,山体面积 282 km²,主峰为大汉阳峰海拔 1 473.8 m。受海拔高度的影响,庐山具有明显的山地气候特征,因处于我国东部季风区,雨热同期,又具有明显的季风气候特征^[9]:年平均气温 11.4℃,7 月

均温 22.5℃,1 月均温-0.3℃,极端高温达 32.8℃,最低温达-16.8℃;年平均降水量 1 916 mm,降水多集中在 4—7 月,约占全年降水量的 70%。常绿阔叶林为亚热带典型的森林植被类型,主要分布于海拔 700 m 以下,因受到人类活动的破坏和干扰,仅有小片分布,现主要为马尾松(*Pinus massoniana*)林分布;海拔 700~1 000 m 为常绿—落叶阔叶混交林,主要出现在常绿阔叶林和落叶阔叶林的垂直带之间,因人为影响,次生性较强;海拔 1 000 m 以上为落叶阔叶林,因受人类活动的影响,破坏严重;海拔较高处(海拔 1 100 m 以上)有玉山竹林,其群落结构简单,往往形成纯林;黄山松(*Pinus taiwanensis*)林主要分布于海拔 1 200 m 以上,直至大汉阳峰顶,其分布规律在山脊与灌丛和落叶阔叶林交错镶嵌或呈混交,自然更新良好,为庐山重要的风景观赏林木。

1.2 样地设置与试验方法

选择马尾松林、常绿阔叶林、常绿—落叶阔叶混交林、落叶阔叶林、玉山竹林、黄山松林下设置 6 块测试样地,样地面积视森林植被类型而定,阔叶林取为 40 m×50 m,针叶林取为 20 m×25 m,本研究选择的样地一般为森林植被类型核心区,均为较成熟的林地,每块样地随机挖掘 3 个土壤剖面,按混合法分层采集 0—20,20—40,40—60 cm 的土壤样本,带回土样进行试验测定。调查地上植被的覆盖状况,6 种森林植被类型样地基本概况见表 1。

表 1 庐山 6 种森林植被类型样地基本概况

采样地点及编号	森林植被类型	主要层优势植物	坡向坡度/(°)	海拔/m	土壤类型
白鹿洞 1	马尾松林	马尾松	NW15—25	400	红壤
观音桥 2	常绿阔叶林	苦槠、大叶栲树	E15—20	350	黄壤
黄龙寺 3	常绿—落叶阔叶混交林	青岗栎、化香	SW30—40	930	山地黄壤
铁船峰 4	落叶阔叶林	茅栗、短柄枹	NE25—30	1040	山地黄棕壤
含鄱口 5	玉山竹林	玉山毛竹	SW35—40	1100	山地黄棕壤
五老峰 6	黄山松林	黄山松	NW20—25	1250	山地棕壤

采用湿筛法^[10]:取 50 g 风干土样放到滤纸上,往滤纸上慢慢加水直到土样渐渐达到饱和状态,将饱和的土样放进 6 个直径 13 cm,孔径分别为 5,2,1,0.5,0.25,0.1 mm 的筛子组成的筛组,在震荡机上震荡 1 min,烘干称重,测得各粒级团聚体含量及其有机碳含量,进而计算出各粒径团聚体的百分含量。将用湿筛法测量得到的数据运用 Excel 2003 和 SPSS 19.0 软件计算不同森林植被类型下土壤 $R_{0.25}$ %、MWD 以及试验测得有关土壤团聚体有机碳含量,制作图表进行总体分析。

2 结果与分析

2.1 不同森林植被对土壤水稳性团聚体组成及稳定性的影响

2.1.1 不同森林植被对土壤水稳性团聚体组成的影响 庐山 6 种森林植被类型下不同土层各粒径团聚

体百分含量见图 1。由图 1 可知,6 种森林植被类型下土壤团聚体百分含量的最大值位于粒径>5 mm 和 0.25~0.5 mm 处,其数值范围为 16.26%~19.32%,其中,黄山松林下土壤 $R_{0.25}$ %最大,常绿阔叶林最小。在 0—20 cm 土层下粒径>5 mm 土壤团聚体百分含量大小排序为:黄山松林>马尾松林>玉山竹林>落叶阔叶林>常绿—落叶阔叶混交林>常绿阔叶林,粒径在 0.25~0.5 mm 土壤团聚体百分含量从大到小依次为:黄山松林>玉山竹林>马尾松林>落叶阔叶林>常绿—落叶阔叶混交林>常绿阔叶林;在 20—40 cm 土层下粒径>5 mm 土壤团聚体百分含量大小排序为:黄山松林>玉山竹林>落叶阔叶林>马尾松林>常绿—落叶阔叶混交林>常绿阔叶林,粒径在 0.25~0.5 mm 土壤团聚体百分含量大小排序:黄山松林>马尾松林>玉山竹林>落叶阔叶林

>常绿—落叶阔叶混交林>常绿阔叶林;在 40—60 cm 土层下粒径>5 mm 的土壤团聚体百分含量从大到小依次为:黄山松林>落叶阔叶林>常绿—落叶阔叶混交林>常绿阔叶林>马尾松林>玉山竹林,粒径在 0.25~0.5 mm 土壤团聚体百分含量大小排序为:黄山松林>马尾松林>玉山竹林>落叶阔叶林>常绿—落叶阔叶混交林>常绿阔叶林。其次为粒径在 2~5 mm 和 0.5~1 mm 处;其土壤团聚体百分含量的最小值位于粒径 1~2 mm,其数值范围为 0.97%~2.13%。经 SPSS 19.0 软件相关分析($n=18$, $df=16$)表明:不同土层的森林植被类型对粒径在>5 mm 和 0.25~0.5 mm 的土壤团聚体百分含量影响明显,在其他粒径范围对土壤团聚体百分含量影响不明显。

2.1.2 不同森林植被对土壤水稳性团聚体稳定性的影响 $R_{0.25}\%$ 是衡量土壤抗侵蚀能力的重要指标,可以评价土壤团聚体水稳定性^[11]。一般而言,粒径>0.25 mm 的土壤团聚体透水性较好,粒径<0.25 mm 的土壤团聚体较紧密,透水性不好。6 种森林植被类型土壤 $R_{0.25}\%$ 平均值见表 2。由表 2 可知,6 种森林植被类型的 $R_{0.25}\%$ 值在同一土层下大小排序为:黄山松林>玉山竹林>马尾松林>落叶阔叶林>常绿—落叶阔叶混交林>常绿阔叶林。另外,随着土层深度的增加, $R_{0.25}\%$ 值减小,表明不同森林植被类型和人为因素的干扰强度明显对底层的 $R_{0.25}\%$ 值构成一定影响,使 $R_{0.25}\%$ 的含量减少,土壤团聚体水稳定性相应减弱。

MWD 是一种评价土壤团聚体水稳定性的方法^[10],其计算公式为:

$$MWD=\sum_{i=1}^n X_i W_i$$

式中: X_i 表示各级土壤团聚体范围的平均值; W_i 表示各级土壤团聚体所占的重量百分比。一般而言,随着 MWD 数值增大,土壤团聚体水稳定性越强,土壤抗侵蚀能力越大^[12]。6 种森林植被类型土壤 MWD 数值见表

3。由表 3 可知,6 种森林植被类型在 0—20 cm 土层下 MWD 大小排序为:黄山松林>马尾松林>玉山竹林>落叶阔叶林>常绿—落叶阔叶混交林>常绿阔叶林。在 0—20 cm 土层下的土壤团聚体较稳定,随着土层深度不断加深,MWD 数值逐渐减小,土壤团聚体稳定性也随之变小,减弱了土壤的抗侵蚀能力。

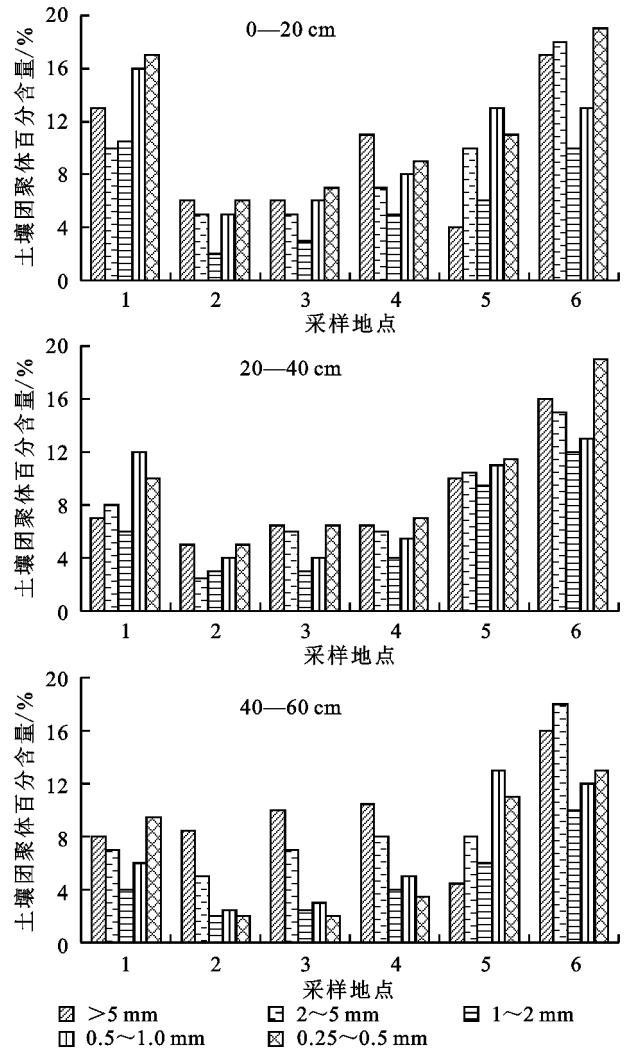


图 1 6 种森林植被类型下不同土层各粒径土壤团聚体百分含量

表 2 6 种森林植被类型土壤 $R_{0.25}\%$ 平均值

土层 深度/cm	马尾松林	常绿阔叶林	常绿—落叶阔叶混交林	落叶阔叶林	玉山竹林	黄山松林
0—20	56.85	22.72	26.31	35.17	67.39	74.75
20—40	42.29	20.22	25.03	29.57	50.05	62.01
40—60	35.95	16.94	21.79	26.63	40.17	51.47

$R_{0.25}\%$ 是维持土壤结构稳定的基础,其含量越高,土壤团聚体的水稳定性越大^[13],MWD 数值越大,表明土壤团聚体就越稳定^[10]。 $R_{0.25}\%$ 和 MWD 是评价和衡量土壤团聚体水稳性的有效方法,根据 SPSS 19.0 软件相关分析($n=18$, $df=16$)得出 $R_{0.25}\%$ 与 MWD 的关系见图 2。由图 2 可知, $R_{0.25}\%$ 与 MWD 之间呈正相关关系,随着土层深度的增加, $R_{0.25}\%$ 逐渐变小,MWD 数值也减小;反之, $R_{0.25}\%$ 越

多,MWD 数值越大,其土壤结构越稳定。

2.2 不同森林植被对土壤团聚体有机碳的影响

土壤团聚体和有机质是维持土壤结构的基础,二者相互作用,不可分割,前者是后者存在的场所,后者是前者存在的胶结物质^[14]。土壤有机碳的水平通常与稳定性团聚体的数量相联系,水稳性团聚体的形成,必须依赖于土壤中的有机质^[15]。6 种森林植被类型土壤水稳性团聚体有机碳含量见表 4。

表 3 6 种森林植被类型土壤 MWD 数值

土层深度/cm	马尾松林	常绿阔叶林	常绿—落叶阔叶混交林	落叶阔叶林	玉山竹林	黄山松林
0—20	1.61	0.46	0.88	1.25	1.46	2.13
20—40	1.12	0.32	0.63	0.88	1.30	1.79
40—60	0.84	0.27	0.46	0.70	0.97	1.35

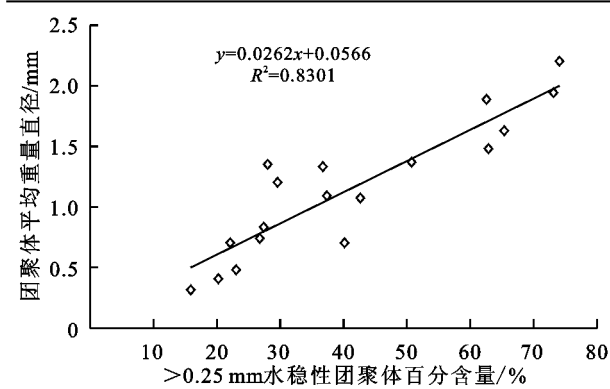


图 2 $R_{0.25}$ %与 MWD 的关系

由表 4 可知,不同森林植被类型在同一土层不同粒径下土壤团聚体有机碳含量发生变化,即在同土层下随着粒径减小,其土壤团聚体有机碳含量逐渐增多;粒径从>5 mm 到 0.25 mm 逐渐变小,土壤团聚体有机碳含量不断增大;6 种森林植被类型在同土层下土壤团聚体有机碳含量大小排序为:黄山松林>马尾松林>玉山竹林>落叶阔叶林>常绿—落叶阔叶混交林>常绿阔叶林。另外,6 种森林植被类型土壤团聚体有机碳含量不同粒径下从表层(0—20 cm)到底层(40—60 cm)均表现出一定幅度的减小。

表 4 6 种森林植被类型土壤水稳性团聚体有机碳含量

分层/cm	粒径/mm	玉山竹林	马尾松林	黄山松林	常绿阔叶林	常绿—落叶阔叶混交林	落叶阔叶林
0—20	>5	4.98±2.01	13.04±2.10	17.02±3.74	3.46±2.95	3.97±4.16	4.92±5.09
	2~5	7.03±3.96	14.13±3.12	15.83±7.02	3.78±1.03	4.59±2.06	5.73±3.04
	1~2	11.01±3.95	13.05±2.11	14.21±3.86	5.28±0.58	6.37±1.43	7.31±1.85
	0.5~1	15.87±2.13	14.17±2.01	22.01±2.01	8.32±0.56	9.44±1.33	10.37±1.97
	0.25~0.5	16.15±2.17	13.97±0.45	22.13±2.01	9.39±0.43	10.43±1.27	11.61±1.51
20—40	>5	3.52±1.96	8.02±2.25	8.52±3.30	0.62±0.31	1.01±0.37	1.86±0.44
	2~5	4.25±3.01	6.87±0.89	8.69±1.77	0.94±0.31	1.77±0.36	2.39±0.46
	1~2	6.23±3.57	8.53±0.32	12.98±3.27	1.34±0.55	2.37±0.71	3.39±1.05
	0.5~1	8.56±3.56	9.56±1.26	13.53±3.35	2.96±0.41	3.36±0.58	4.05±0.98
	0.25~0.5	9.06±1.03	10.11±0.35	12.13±3.01	3.01±0.36	3.62±0.51	4.96±0.69
40—60	>5	1.88±0.38	3.27±0.23	7.01±0.38	0.93±0.27	1.04±0.45	1.15±0.53
	2~5	2.75±2.01	3.76±0.78	4.38±0.53	0.44±0.10	0.63±0.11	0.96±0.11
	1~2	3.75±2.02	5.75±0.25	5.79±1.55	0.57±0.25	0.83±0.25	1.18±0.25
	0.5~1	7.76±4.75	6.13±0.13	8.13±3.37	1.01±0.28	1.76±0.43	2.39±0.56
	0.25~0.5	6.26±4.03	5.88±0.26	7.53±1.75	1.12±0.37	1.89±0.53	2.77±0.71

通过对表 4 中相关数据分析可以得出 6 种森林植被类型土壤团聚体有机碳含量百分比。在同一土层下黄山松林的土壤团聚体有机碳含量最大,常绿阔叶林最小,马尾松林、玉山竹林和黄山松林的团聚体有机碳变化较明显,而其他 3 种差异不显著。土壤团聚体有机碳含量在不同森林植被类型下的变化可能与植物根系的深浅有关,植物根系越浅,向下迁移的土壤有机质越少,从而导致土壤底层的团聚体有机碳含量较低;反之,植物根系越发达,底层的土壤团聚体有机碳含量相对较高。此外,人为干预也会对土壤团聚体有机碳含

量造成一定影响。根据 SPSS 19.0 软件相关分析($n=18,df=16$)得出土壤总有机碳含量与土壤团聚体有机碳含量的相关关系见图 3。由图 3 可知,粒径在 1~2 mm 的回归方程斜率最大,为 1.816 1,说明此粒径范围的土壤总有机碳含量受团聚体有机碳含量影响较大。各粒径土壤团聚体有机碳与总有机碳线性回归方程得到的相关系数分别为:0.823,0.864,0.892,0.952,0.963。粒径在 0.25~0.5 mm 的相关系数最大,说明粒径在 0.25~0.5 mm 的团聚体有机碳含量对总有机碳的影响显著,两者呈正相关关系。

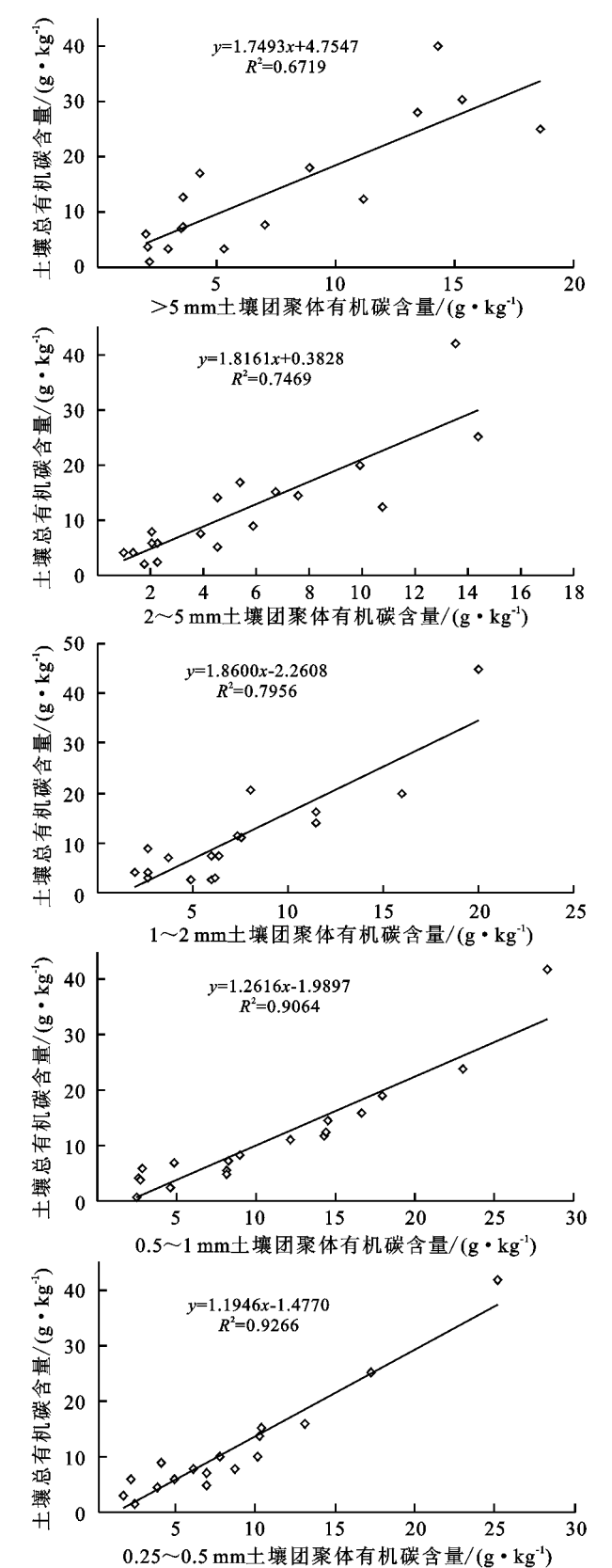


图 3 土壤总有机碳含量与土壤团聚体有机碳含量的相关关系

3 结论

(1) 不同土层的森林植被类型对粒径在 >5 mm 和 0.25~0.5 mm 范围内的土壤团聚体含量影响较明显,其中黄山松林下土壤团聚体含量最高。

(2) 6 种森林植被类型在不同的土层下土壤 R0.25% 和 MWD 值是随着土层深度的增加而逐渐减小,其土壤团聚体稳定性也随之减弱,在 0—20 cm 土层下的土壤团聚体较稳定,黄山松林、马尾松林和玉山竹林下 MWD 值较大,在 20—60 cm 土层差异则不明显。

(3) 在同一土层下黄山松林下土壤团聚体有机碳含量最大,常绿阔叶林最小,马尾松林、玉山竹林和黄山松林下土壤团聚体有机碳变化较明显,而其他 3 种差异不显著;6 种森林植被类型土壤团聚体有机碳含量不同粒径下从表层(0—20 cm)到底层(40—60 cm)减小幅度较明显。

参考文献:

[1] Six J, Conant R T, Paul E A, et al. Stabilization mechanisms of Soil organic matter; implications for C-saturation of soils[J]. Plant and Soil, 2002, 241(2): 155-176.

[2] Aoyama M, Angers D A, N'dayegamiye A. Particulate and mineral-associated organic matter in water-stable aggregates as affected by mineral fertilizer and manure applications[J]. Canadian Journal of Soil Science, 1999, 79(2): 295-302.

[3] Unger P W. Aggregate and organic carbon concentration interrelationships of a *Torrertic paleustoll*[J]. Soil and Tillage Research, 1997, 42(1): 95-113.

[4] Shrestha B M, Singh B R, Sitaula B K, et al. Soil aggregate- and particle-associated organic carbon under different land uses in Nepal[J]. Soil Science Society of America Journal, 2007, 71(4): 1194-1203.

[5] Walker S M, Desanker P V. The impact of land use on soil carbon in Miombo Woodlands of Malawi[J]. Forest Ecology and Management, 2004, 203(1): 345-360.

[6] 毛艳玲. 土地利用变化对土壤团聚体碳组份的影响[D]. 福州: 福建师范大学, 2008.

[7] 章明奎, 何振立, 陈国潮, 等. 利用方式对红壤水稳定性团聚体形成的影响[J]. 土壤学报, 1997, 34(4): 359-366.

[8] 张曼夏, 季猛, 李伟, 等. 土地利用方式对土壤团聚体稳定性及其结合有机碳的影响[J]. 应用与生物环境学报, 2013, 19(4): 598-604.

[9] 杜有新, 吴从建, 周赛霞, 等. 庐山不同海拔森林土壤有机碳密度及其分布特征[J]. 应用生态学报, 2011, 22(7): 1675-1681.

[10] 刘雷. 黄土丘陵区不同植被类型土壤团聚体稳定性及有机碳官能团评价[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2013.

[11] 董莉丽. 不同土地利用类型下土壤水稳性团聚体的特征[J]. 林业科学, 2011, 47(4): 95-100.

[12] 周纯亮. 中亚热带四种森林土壤有机碳库特征初步研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.

[13] 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.

[14] 王胜涛. 耕地和有机物质投入对土壤碳库和团聚体稳定性的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.

[15] 窦森, 李凯, 关松. 土壤团聚体中有机质研究进展[J]. 土壤学报, 2011, 48(2): 412-418.