

Correlation Analysis of Particle Size and Aggregate of Purple Soil in Jialing River Basin

Mingyun Luo, Linlin Yao

China West Normal University, Nanchong Sichuan
Email: lmy69@126.com

Received: Jan. 6th, 2020; accepted: Jan. 30th, 2020; published: Feb. 5th, 2020

Abstract

In order to explore the intrinsic relationship between different mechanical compositions of purple soil particles and aggregates' structural characteristics, eight groups of soil samples with three depths (10 cm, 30 cm, 50 cm) of purple waste soil were selected as experimental samples, and soil aggregates were analyzed by dry and wet sieving methods. GMD, MWD and fractal dimension D were selected to characterize the stability of aggregates against external forces, and at the same time, the soil particles with different sizes were discussed. The results show that the aggregates with different particle sizes have different preferences when they are cemented into soil aggregates. 1 - 0.05 mm sand particles are easy to cement into 0.5 - 1 mm, 1.0 - 2.0 mm aggregates, but their water stability is not high. It is difficult to form 1 - 2 mm aggregates with coarse powder content, but more easily to form aggregates larger than 5 mm, but the water stability of aggregates is poor. The content of macroaggregates was negatively correlated with that of microaggregates, and positively correlated with that of macroaggregates.

Keywords

Jialing River, Purple Soil, Soil Particle Size, Soil Aggregates

嘉陵江流域紫色土团聚体与粒径相关性分析

罗明云, 姚林林

西华师范大学, 四川 南充
Email: lmy69@126.com

收稿日期: 2020年1月6日; 录用日期: 2020年1月30日; 发布日期: 2020年2月5日

摘要

为探讨紫色土土粒的不同机械组成同团聚体结构特征的内在联系, 分别选取川东北丘陵地区8组紫色荒土

的3个深度(10 cm, 30 cm, 50 cm)的土样为实验样本, 通过干筛法和湿筛法对土壤团聚体进行分析, 选取GMD, MWD, 以及分形维数D表征团聚体抗稳定性, 同时探讨各粒径土粒同各粒径团聚体的相互关系, 结果表明不同粒径土粒在复合胶结成土壤团聚体具有不同偏好: 1~0.05 mm的砂粒容易胶结成0.5~1 mm和1.0~2.0 mm的大团聚体; 粗粉粒含量较难形成1~2 mm团聚体, 却较易形成大于5 mm团聚体, 抗水稳性较差; 土壤中较细部分同微团聚体的含量多寡呈现明显的负相关, 同大团聚体的多寡呈现显著正相关。

关键词

嘉陵江, 紫色土, 土壤粒径, 土壤团聚体

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

四川盆地紫色土是在各种紫色泥岩、砂岩、页岩上发育而来, 其磷钾含量丰富, 有机质偏低, 盐基饱和度高, 土壤发育常停留在幼年阶[1]。紫色土由于其自身理化性质加之四川盆地全年降水充沛, 连绵分布的低山丘陵, 工农业以及城市化对原有自然植被的破坏, 较之其它土种更易发生土壤侵蚀、土壤退化。

因此, 本文以四川盆地非地带性土壤 - 紫色土为研究对象, 为尽量规避人为因素对紫色土理化性质的影响, 选取荒土为样本, 通过干筛和湿筛两种方法对土壤团聚体相关特征进行分析, 探讨紫色土机械组成同团聚体的耦合特征, 为紫色土合理开发利用提供科学依据。

2. 材料与方法

2.1. 研究区域概况

南充市顺庆区照壁沟村(30.846°N~30.849°N、106.056°E~106.059°E), 位于嘉陵江流域中游, 属川东北丘陵地带、紫色土区, 平均海拔高度在320 m左右, 属中亚热带湿润季风气候, 降水年际变化不大但季节分配不均, 炎夏多暴雨, 初秋现伏旱, 自然植被为亚热带常绿阔叶林。地形以中丘、浅丘和平坝为主。土壤以紫色土的开发利用最为典型。

2.2. 土样采集与处理

秉承一致性和代表性原则, 在照壁沟村小流域范围, 选择坡向、植被生长大体一致的8组荒土, 在土层3个深度(10 cm、30 cm、50 cm)设置三个采样点, 共利用环刀采集新鲜原状土壤样品24份(具体情况见表1)。土壤粒径选用比重计法测定, 依据卡庆斯基土壤粒径划分标准进行土壤粒径命名。

Table 1. Basic condition of sampling site

表 1. 采样地基础状况

点号 The dot	经纬度 Latitude and longitude	坡度 Slope (°)	海拔 Altitude (m)	植被 Vegetation
ZB-S01	30.848 N, 106.057 E	3	361 ± 5.2	铁仔(野茶明立花) (<i>Myrsine africana</i>) 金佛山荚蒾(<i>Viburnum chinshanense</i>) 地果(<i>Ficus tikoua</i>) 平贝母(<i>Fritillaria ussuriensis</i>)

Continued

ZB-S02	30.848 N, 106.057 E	8	350.6 ± 5.3	黄荆(<i>Vitex negundo</i>)
ZB-S03	30.848 N, 106.057 E	6	350.6 ± 5.4	马兰菊(<i>Indian kalimeris</i>)
ZB-S04	30.848 N, 106.057 E	2	355	柏树(<i>Platyclusus orientalis</i>)
ZB-S05	30.848 N, 106.057 E	6	334	白茅(<i>Imperata cylindrica</i>) 黄荆(<i>Vitex negundo</i>) 地果(<i>Ficus tikoua</i>) 金佛山荚蒾(<i>Viburnum chinshanense</i>)
ZB-S06	30.847 N, 106.057 E	0	320	芦苇(<i>Phragmites australis</i>) 苍耳(<i>Xanthium sibiricum</i>) 白茅(<i>Imperata cylindrica</i>) 地果(<i>Ficus tikoua</i>) 西南假毛蕨(<i>Pseudocyclosorus esquirolii</i>) 小槐花(拿身草) (<i>Ohwia caudata</i>)
ZB-S07	30.847 N, 106.057 E	0	307	西南假毛蕨(<i>Pseudocyclosorus esquirolii</i>) 白茅(<i>Imperata cylindrical</i>) 节节草(<i>Equisetum ramosissimum desf</i>) 地果(<i>Ficus tikoua</i>) 藁草(<i>Carex linn</i>)
ZB-S08	30.847 N, 106.058 E	0	300	西南假毛蕨(<i>Pseudocyclosorus esquirolii</i>) 白茅(<i>Imperata cylindrica</i>) 地果(<i>Ficus tikoua</i>) 金佛山荚蒾(<i>Viburnum chinshanense</i>) 瓜木(<i>Alangium platanifolium</i>)
ZB-S09	30.846 N, 106.058 E	0	283	车前(<i>Plantago asiatica</i>) 羊蹄(<i>Pumex japonicus</i>)

2.3. 数据处理

选取指标, MWD [2] (平均重量直径), GMD [3] (几何平均直径), D [3] (团聚体分形维数)采用公式:

$$MWD = \sum_{i=1}^n Di \cdot Wi$$

$$GMD = EXP \left[\frac{\sum_{i=1}^n Wi \cdot \ln Di}{\sum_{i=1}^n Mi} \right]$$

$$(3 - D) \cdot \log \left[\frac{Di}{D_{max}} \right] = \log \left[\frac{M}{Mo} \right]$$

Di 表示第 i 个筛子上团聚体的平均直径(mm); Wi 表示第 i 个筛子上团聚体的质量百分比; Mi 表示第 i 个筛子上团聚体的质量(g); D_{max} 表示团聚体最大几何直径; M 表示小于 Di 的所有团聚体质量之和; MO 表示土壤团聚体总质量。

数据基础整理运用 EXCEL, 相关显著性分析选用 SPSS25 中的皮尔逊相关系数分析法。

3. 结果和分析

3.1. 紫色土土壤粒径分析

本次测定紫色土样质地大多为中壤土、重壤土和轻粘土(具体见表 2), 与实际情况吻合度高。各个土壤虽然在质地上差别不大, 但是具体粒径土粒含量差别显著。如物理性粘粒含量在 52.7%上下波动, 波

动范围为 $\pm 15\%$, 其中含量最高的是 ZB-S06-50 cm, 占比为 67.84%, 最低的是 ZB-S03-50 cm 土样, 占比为 34.84%。砂粒含量最高的是 ZB-S05-50 cm 土样, 砂粒含量高达 57.84%, 土壤质地为粉砂质中壤土。砂粒含量最低的是 ZB-S06-50 cm, 含量为 10.2%, 土壤质地呈现粘粉质轻粘土, 表现为土壤整体质地偏轻, 砂粒占比小, 物理性粘粒、中细粉粒占比大, 土壤呈轻粘状态。粘粒含量整体波动范围在 9%~26% 之间, 波动幅度不大。其次土样并没呈现出具有统计学意义的土层深度变化和土壤某一粒级土粒的线性关系, 或者说各个土样随深度变化的现象不具有整体代表性。比如, ZB-S01 土样随深度增加, 砂砾增加, 粗粉粒减少, 粘粒增加。而 ZB-S08 土样随深度增加, 砂砾减少, 粗粉粒增加同时, 粘粒增加。具体土样机械组成与土层深度、土粒粒径的关系详见下表 2。

Table 2. Soil size and texture
表 2. 土壤粒径及质地

编号 Number	深度 Depth (cm)	砂粒 The sand (%)	粗粉粒 Coarse silt (%)	物理性粘粒 Physical clay (%)	中细粉粒 Medium-fine grains (%)	粘粒 Clay (%)	土壤命名 Soil named
ZB-S01	10	31.18	32.94	35.88	20.68	15.20	粗粉砂质中壤土
ZB-S03	10	38.20	24.96	36.84	22.56	14.28	砂质中壤土
ZB-S04	10	24.20	27.96	47.84	28.62	19.22	粉质重壤土
ZB-S05	10	40.16	15.92	43.92	27.28	16.64	粉砂质中壤土
ZB-S06	10	13.22	21.94	64.84	40.24	24.60	粘粉质轻粘土
ZB-S07	10	18.16	20.92	60.92	34.48	26.44	粘粉质轻粘土
ZB-S08	10	32.16	13.92	53.92	31.52	22.40	粉砂质重壤土
ZB-S09	10	17.16	21.92	60.92	37.32	23.60	粘粉质轻粘土
ZB-S01	30	35.16	24.92	39.92	21.16	18.76	砂质中壤土
ZB-S03	30	39.20	20.00	40.80	24.96	15.84	粉砂质中壤土
ZB-S05	30	38.24	17.94	43.82	29.22	14.60	粉砂质中壤土
ZB-S06	30	23.20	13.96	62.84	37.62	25.22	粘粉质轻粘土
ZB-S07	30	19.08	17.84	63.08	35.84	27.24	粘粉质轻粘土
ZB-S08	30	13.16	22.92	63.92	37.60	26.32	粘粉质轻粘土
ZB-S09	30	17.24	17.96	64.8	40.36	24.44	粘粉质轻粘土
ZB-S01	50	43.28	12.92	43.80	28.20	15.60	粉砂质中壤土
ZB-S03	50	53.2	11.96	34.84	23.96	10.88	粉砂质中壤土
ZB-S04	50	42.24	15.96	41.80	32.28	9.52	粉砂质中壤土
ZB-S05	50	57.24	0.64	42.12	26.36	15.76	粉砂质中壤土
ZB-S06	50	10.22	21.94	67.84	42.16	25.68	粘粉质轻粘土

3.2. 各级土粒含量同团聚体相关性分析

3.2.1. 砂粒含量与各粒径团聚体相关性分析

在 10 cm 深度内 8 个土样, 砂粒含量依次为 31.18%、38.2%、24.2%、40.16%、13.22%、18.66%、32.16%、17.16%。砂粒含量同微团聚体和 0.25~0.5 mm 大团聚体之间并未呈现统计学意义上的显著性。干筛前, 砂粒与微团聚体依据皮尔逊相关性分析, r 值为 0.279, s 值为 0.504; 湿筛后两者之间的相关性和显著度并未发生明显变化, 由此也可证明砂粒含量与微团聚体相关性并不显著。其次砂粒同 0.5~1 mm

团聚体相关性分析中 r 值为 0.63, s 值为 0.048, 经湿筛 s 值降至 0.30。这说明砂粒含量同 0.5~1.0 mm 团聚体形成具有相关性, 但抗水稳性能力不强。在 1~2 mm 粒级, 团聚体也体现了和砂粒较强的相关性, 干湿筛前后 r 值在 0.5, s 值在 0.15 左右。而 2.0~5.0 mm 和大于 5 mm 团聚体在干筛和湿筛后都未呈现出与砂粒显著度较高的相关性。反观 30 cm 土层深度, 砂粒与各粒径团聚体也呈现了类似高斯曲线形态的相关性分布, 具体为两极无关, 中间相关性较大。对比 50 cm 土层深度砂粒含量与小于 0.25、0.25~0.5 mm 团聚体的相关性也不显著, 而与 0.5~1 mm 和 1~2 mm 团聚体呈现出极强正相关性, s 值都在 0.01 级别, 同时表现出与 >5 mm 团聚体极强的负相关性, 且在干筛和湿筛前后相关性变化不大。

3.2.2. 粗粉粒含量与各级团聚体相关性分析

在 10 cm 土层深度内, 随着土壤团聚体粒径的增加, 两者相关性增加, 表现为与 1~2 mm 团聚体相关性分析中 s 值为 0.132, r 值为 -0.58; 与大于 5 mm 团聚体相关性也达到了 r 值范围在 0.01, 但与 1~2 mm 团聚体不同的是, 呈现出正相关性。对比分析湿筛后各级团聚体与粗粉粒含量相关性系数可以发现, 湿筛后大于 5 mm 团聚体与粗粉粒相关性从 0.041 变化到 0.283, 相关性降低。为证明上面的结果, 分析土层深度在 30 cm 和 50 cm 土样。其中两者均体现出与微团聚体, 和粒径在 0.25~0.5 mm, 0.5~1 mm 无关, 与 1~2 mm 和大于 5 mm 团聚体相关性增加, 但却呈现出正负不同的差异(具体见下图 1)。

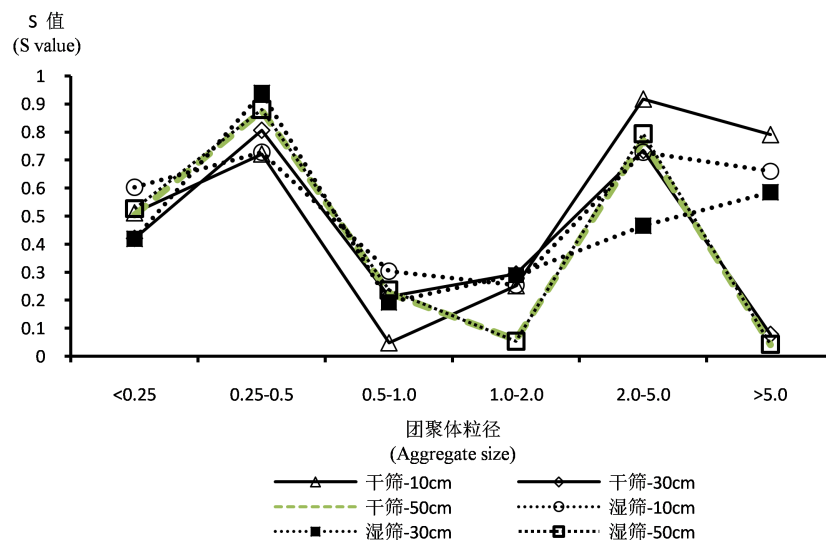


Figure 1. The relationship between soil sand grain content and soil aggregates
图 1. 砂粒含量与各级团聚体相关性分析

3.2.3. 物理性粘粒与各级团聚体相关性分析

土样中物理性粘粒含量在 10 cm 深度与各粒径团聚体呈现出的相关性较强, 但也有细微变化, 随着土壤团聚体粒径的增大, s 值先减小, 后增大, 再减小, 再增大(图 2)。其中相关性最明显的是物理性粘粒同 0.5~1 mm、1~2 mm 团聚体的微负相关性, 同时也体现出同小于 0.25 mm 团聚体强不相关性, 而这种不相关性随干筛过渡到湿筛而增加, 以此可证明物理性粘粒丰富与小于 0.25 mm 的微团聚体含量并无直接相关性。30 cm 土层深度, 物理性粘粒同微团聚体 s 值为 0.857, 湿筛后变化至 0.528, 相关性不大但在增加。纵向比较 30 cm 土样, 相关性系数变化同 10 cm 深度相同。而 50 cm 深度土样, 除了表现出与小于 0.25 mm 团聚体极不相关性, 更与 0.5~1 mm 和 1~2 mm 团聚体极强的负相关性, 与大于 5 mm 的相关性系数为 0.024, 显著度高达 0.975, 体现出极强的正相关性。湿筛后, 物理性粘粒含量与大于 5 mm 团聚体相关性降至 0.621, 与其他相关性没有显著变化(具体情况见下图 3)。

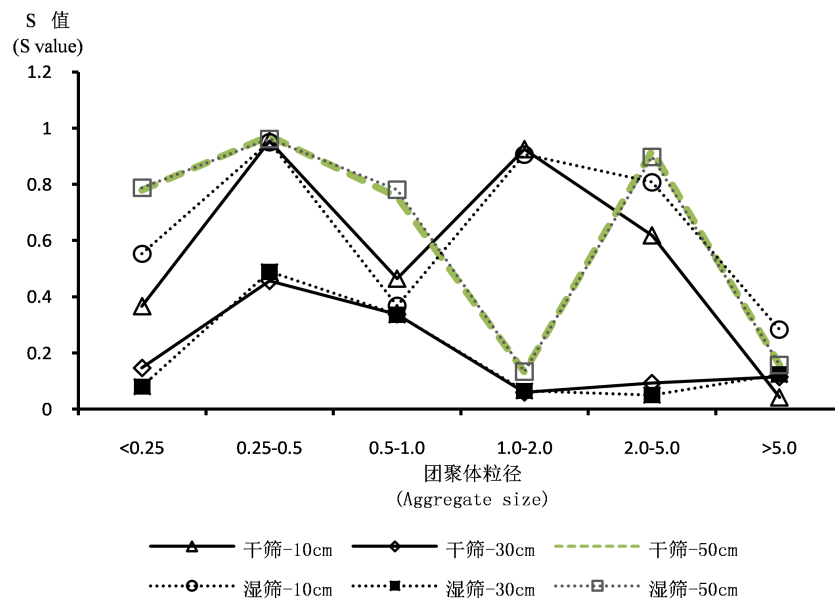


Figure 2. The relationship between soil coarse silt and soil aggregates
图 2. 粗粉粒含量与各级团聚体相关性分析

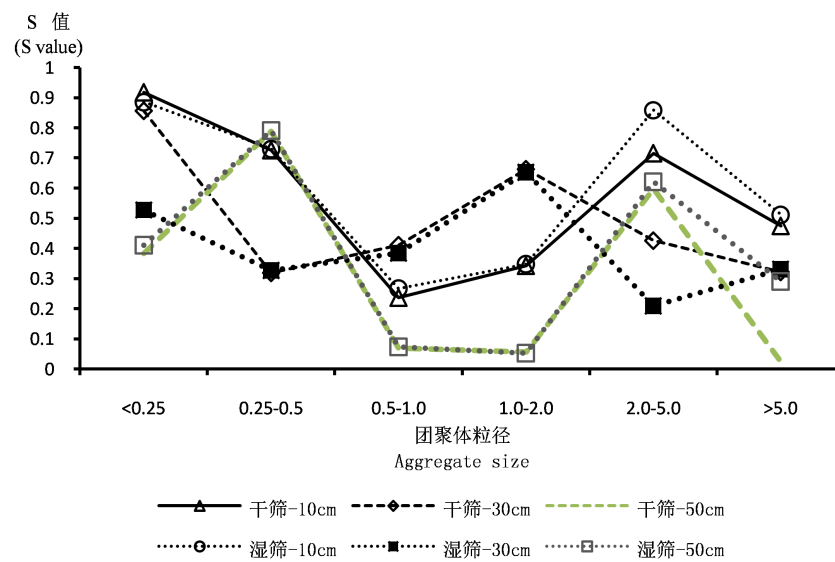


Figure 3. The relationship between soil physical clay and soil aggregates
图 3. 物理性粘粒含量与各级团聚体相关性分析

3.2.4. 中细粉粒与各级团聚体相关性分析

中细粉粒含量同各级团聚体相关性并不显著, 干筛湿筛均是如此。但也体现出与小于 0.25 mm、0.25~0.5 mm 团聚体的极不相关性, 与 0.5~1 mm、1.0~2.0 mm 团聚体的微负相关性。在 30 cm 深度土样中, 相关性变化近似, 但不同的是, 中细粉粒同大于 5 mm 团聚体相关性分析中 s 值为 0.098, r 值为 -0.624, 相关性增加, 但不具有极强的证明力度。针对上述两种深度土样展现出的不同相关性变化, 验证 50 cm 深度中细粉粒含量同各级团聚体相关性变化, 其中中细粉粒同大于 5 mm 团聚体却呈现出极强的正相关性, s 值为 0.01, 显著度高达 0.79。在本次实验中, 三个土层深度中细粉粒含量同各级团聚体相关性变化趋势均有差异(见图 4)。

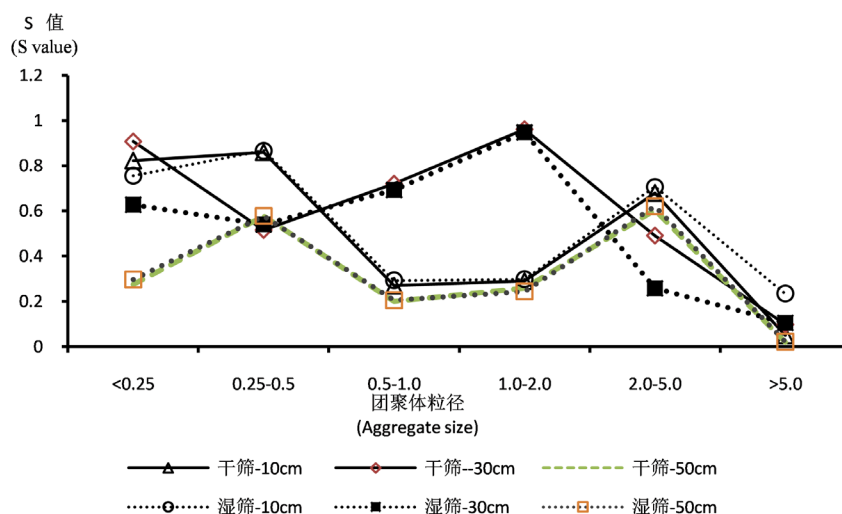


Figure 4. The relationship between medium-fine particle silt and soil aggregates
图 4. 中细粉粒含量与各级团聚体相关性分析

3.2.5. 粘粒含量同各级团聚体相关性分析

粘粒是整个土壤中几何直径最细小的部分, 粘粒含量的多寡与小于 0.25 mm 团聚体在三个深度的土层均没有直接相关性。随着团聚体直径的增加, 粘粒同团聚体相关性先减弱再增加, 再降到局部最小值, 又在大于 5 mm 团聚体处体现出极强的正相关性。这样的变化在 50 cm 深度变化最为明显, s 值从 0.548 到 0.05, r 值从 -0.25 到 0.691, (具体情况见图 5)。

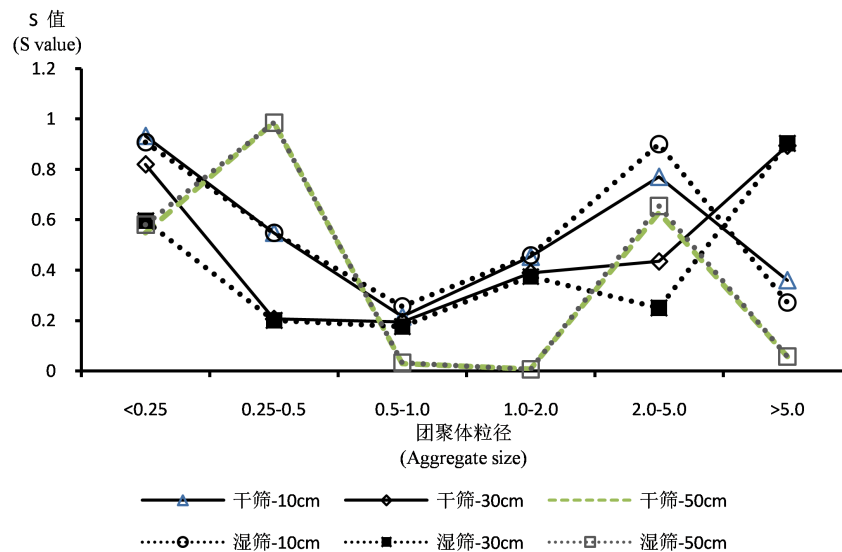


Figure 5. The relationship between soil clay and soil aggregates
图 5. 粘粒含量与各级团聚体相关性分析

3.3. 土壤机械组成同各土样抗外力稳定性综合分析

本次实验土样的各稳定性指标依次为 GMD, MWD 以及团聚体质量分形维数 D [4] [5] [6] [7]。GMD 同 MWD 的大小均可表示土壤团聚体中大粒径团聚体的多少[8]。而分形维数 D 越大, 土壤中微团聚体质量越大。本次干筛前后, 土壤 GMD 和分形维数 D 并没有发生显著变化, 说明土壤在抗水稳定性较好。

但其中也有变化值较大的, 如 ZB-S03-30 cm 土样 D 上升了 18%, ZB-S09-10 cm 土样 D 上升了 14% (具体见表 3)。由于 GMD 同 MWD 之间的 s 值在 0.01 级别, 具有极强的相关性, 所以本次在研究土壤机械组成同稳定性各指标的相互关系时, 默认为 GMD 和 MWD 之间具有相同的变化量。对于分形维数 D 的分析中, 选取的是干湿筛 D 的差值同土壤机械组成进行相关性分析。结果表明, MWD 同物理性粘粒、中细粉粒以及粘粒的相关性较强, 与砂粒和粗细粉粒呈现出微负相关性, 其中在 50 cm 深度上相关性表现最为明显, 在 10 cm 土层表现较为隐晦(具体情况见图 6); 分形维数 D 的变化量同土壤个粒级的土粒之间的相关性较弱, 在三个土层表现均有差异, 且显著度不高。

Table 3. Summary on characteristics of soil aggregates
表 3. 各土层土壤团聚体特征汇总

	深度 depth (cm)	干筛 GMD Dry sieve GMD	湿筛 GMD Wet sieve GMD	干筛 D Dry sieve D	湿筛 D Wet sieve D	湿筛 MWD Wet sieve MWD
ZB-S01	10	0.99	0.99	2.78	2.77	1.26
	30	1.00	1.00	2.76	2.76	1.63
	50	1.01	1.01	2.30	2.25	2.64
ZB-S03	10	1.01	1.01	2.03	2.00	2.54
	30	1.01	1.01	2.15	2.55	2.22
	50	0.99	0.99	2.74	2.74	1.10
ZB-S04	10	1.01	1.01	2.21	2.21	2.69
	30	0.99	0.99	2.74	2.74	1.11
	50	1.00	1.01	2.42	2.41	1.97
ZB-S05	10	1.01	1.00	2.50	2.71	1.84
	30	1.00	1.00	2.68	2.54	1.76
	50	1.00	1.00	2.52	2.53	2.01
ZB-S06	10	0.98	0.99	2.32	2.86	0.92
	30	1.01	1.01	2.25	2.25	2.50
	50	1.02	1.02	2.26	2.20	3.31
ZB-S07	10	1.02	1.02	2.05	2.15	2.94
	30	1.01	1.01	2.10	2.11	2.65
	50	1.02	1.02	2.26	2.27	3.05
ZB-S08	10	1.02	1.01	2.28	2.06	2.70
	30	0.99	0.99	2.86	2.86	1.04
	50	1.01	1.01	2.46	2.46	2.55
ZB-S09	10	1.01	1.01	2.16	2.46	2.61
	30	1.01	1.01	2.39	2.39	2.32
	50	0.99	0.99	2.81	2.80	1.15

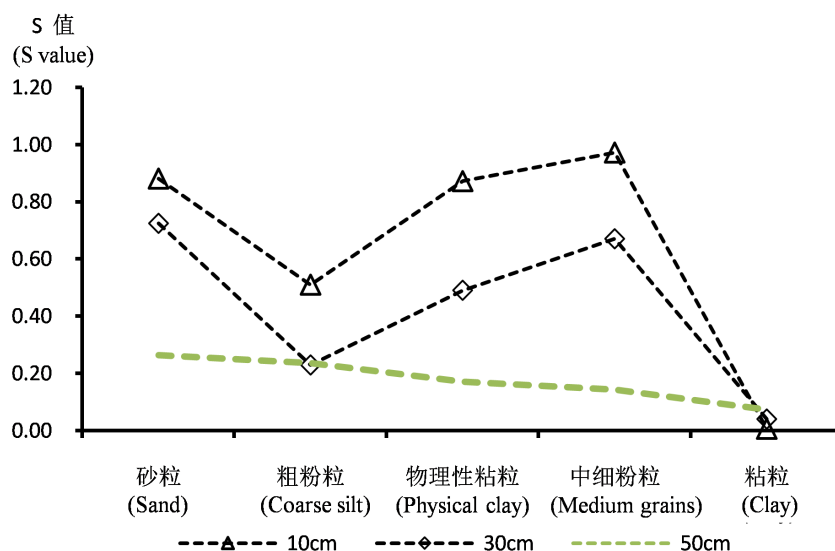


Figure 6. The relationship between MWD and soil particle size
图 6. MWD 与各粒径土粒含量相关性分析

4. 结论与讨论

本次实验的紫色土样质地总体呈现轻粘、重壤和中壤类, 优势团聚体含量较多。在分析过程中, 土壤机械组成同各级团聚体体现出以下关系:

1) 砂粒含量多寡同大团聚体的形成具有较强的相关性, 如砂粒易同土壤中较细颗粒结合如粘粒、中细粉粒胶结形成更大一级或几级的土壤团聚体, 但抗外力稳定性不高。

2) 粗粉粒与微团聚体, 0.25~0.5 mm, 0.5~1.0 mm 团聚体形成相关性不大, 与 1~2 mm 和大于 5 mm 团聚体相关性较强, 但团聚体抗水稳性不高。

3) 物理性粘粒同微团聚体相关性不大, 同大于 5 mm 团聚体呈现显著正相关。

4) 粘粒含量同微团聚体相关性弱, 同大于 5 mm 团聚体相关性强。

5) 在土壤抗外力稳定性的测试中, GMD 同 MWD 和土层深度增加呈正相关, 土壤抗外力稳定性增加, 优势团聚体增加, 其中 MWD 同 GMD 体现出与物理性粘粒、中细粉粒及粘粒较强正相关性。

综上所述, 紫色土壤微团聚体的多寡应取决于团聚体的抗外力稳定性, 其次受限于土壤质地。优势团聚体和砂粒、物理性粘粒、粘粒及中细粉粒正相关, 但砂粒及粗粉粒含量较多的土壤抗水稳性较弱。

在紫色土治理, 开发和保护过程中, 应减少人为扰动, 注重改善土壤理化性质, 提高土壤粘粒及较小土粒含量, 从而形成优势水稳性团聚体, 从而减少紫色土水土侵蚀。

基金项目

本项目受西华师范大学英才基金资助(17YC116)。

参考文献

- [1] 王齐齐, 徐虎, 马常宝, 等. 西部地区紫色土近 30 年来土壤肥力与生产力演变趋势分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(6): 1492-1499.
- [2] 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(20): 1896-1899.
- [3] Van Bavel, C.H.M. (1994) Mean Weight-Diameter of Soil Aggregates as a Statistical Index of Aggregation. *Soil Science Society of America Journal*, **14**, 20-23. <https://doi.org/10.2136/sssaj1950.036159950014000C0005x>

- [4] 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+22.
- [5] 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+82.
- [6] 谢锦升, 杨玉盛, 陈光水, 等. 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(2): 702-709.
- [7] 曾宪勤, 刘和平, 路炳军, 等. 北京山区土壤粒径分布分形维数特征[J]. 山地学报, 2008(1): 65-70.
- [8] 李建华, 李华, 郜春花, 等. 长期施肥对晋东南矿区复垦土壤团聚体稳定性及有机碳分布的影响[J]. 华北农学报, 2018, 33(5): 188-194.