

中南地区典型地带性土壤团聚体抗张强度的变化及影响因素

余立, 蔡崇法, 吴新亮, 王迪, 张德谦

(华中农业大学资源与环境学院, 农业部长江中下游耕地保育重点实验室, 武汉 430070)

摘要: 团聚体的力稳性是决定土壤抗侵蚀能力的关键因素。为探究地带性土壤团聚体抗张强度的变化规律及其影响因素, 自北向南选取我国中南部地区6种典型地带性土壤(褐土、黄褐土、棕红壤、红壤、赤红壤和砖红壤)的不同粒径(1~2, 2~3, 3~5, 5~10 mm)团聚体作为研究对象, 通过测定团聚体的抗张强度(TS), 探究其与土壤基本理化性质的关系, 揭示该区域团聚体抗张强度的变化特点和稳定机制。结果表明: (1) 供试土壤皆为黏性土壤, 自北向南, 随着水热条件的增加, 土壤的pH值逐渐降低, 高岭石含量和游离氧化物(Fe_d 、 Al_d)呈现明显的增加趋势; 有机质含量随土壤深度的增加而降低。 (2) 同种土壤团聚体的抗张强度随着粒径的增大而逐步减小, 从北至南, 相同粒径团聚体的抗张强度整体呈现减小的趋势。 (3) TS与pH、粉粒含量、蛭石含量呈极显著正相关($r > 0.63$, $p < 0.01$), TS与黏粒含量、1.4 nm过渡矿物含量、高岭石含量、游离氧化铁、铝(Fe_d 、 Al_d)呈显著负相关($r < -0.53$, $p < 0.05$)。 (4) 逐步回归分析表明, Fe_d 和CEC可以较好的预测和评价3~5 mm团聚体的抗张强度($R^2 = 0.80$, $p < 0.01$)。总体而言, 黏土矿物类型及其含量是影响地带性土壤团聚体力稳性的重要因素。研究结果可为该区域土壤侵蚀预测提供一定的理论依据。

关键词: 抗张强度; 地带性土壤; 中南地区; 黏土矿物; 团聚体

中图分类号: S152.4⁺7

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)05-0152-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2017.05.024

Aggregate Tensile Strength and Its Influencing Factors for Typical Zonal Soils in Central-southern China

SHE Li, CAI Chongfa, WU Xinliang, WANG Di, ZHANG Deqian

(College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Key Laboratory of Arable Land Conservation for Middle and Lower Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture, Wuhan 430070)

Abstract: Mechanical stability of aggregate is a key factor influencing soil resistance to erosion. To investigate the variations of aggregate tensile strength for zonal soils and their stabilization mechanisms, aggregates of different sizes (1~2, 2~3, 3~5 and 5~10 mm) for six typical zonal soils (Cinnamon soil, Yellow-cinnamon soils, Brownish red soils, Red soils, Latosolic red soils and Latosols) in central-southern China were selected. In the study, the tensile strength and their relationships with soil physicochemical properties were examined. Main results were shown as follows: (1) With the increase of hydrothermal condition, soil pH and kaolinite content gradually decreased from north to south, while opposite trends were displayed in free iron (Fe_d) and aluminum (Al_d) oxides. The content of organic matter decreased with soil depth. (2) All these soils were in heavy texture. Aggregate tensile strength generally decreased with the increase of aggregate size. For the same size aggregates, tensile strength showed a decreased trend from north to south in China. (3) Tensile strength was correlated positively with pH, silt content and vermiculite content significantly ($R > 0.63$, $p < 0.01$), while negatively with clay content, 1.4 nm transition mineral content, kaolinite content, Fe_d and Al_d ($R < -0.53$, $p < 0.05$). (4) Multiple stepwise regression showed that the Fe_d and cation exchange capacity could be used to better predict and evaluate tensile strength of 3~5 mm aggregate ($R^2 = 0.80$, $p < 0.01$). In general, the types and amount of clay mineral play a vital role in aggregate mechanical strength for zonal soils. The results can provide a basis for the prediction of soil erosion and decision-making for soil and water conservation.

Keywords: tensile strength; zonal soils; central-southern China; clay mineral; aggregate

收稿日期: 2017-04-06

资助项目: 国家自然科学基金项目(41471231, 41630858)

第一作者: 余立(1991—), 男, 硕士研究生, 主要从事团聚体力稳性研究。E-mail: 264568530@qq.com

通信作者: 蔡崇法(1961—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀机理研究。E-mail: cfcai@mail.hzau.edu.cn

土壤结构是决定土壤抗侵蚀能力最为关键的因素,而团聚体作为土壤抵御外营力破坏的基本单元,其力稳性特征受土壤中物质组成的影响。抗张强度作为团聚体力稳性中重要的指标,表征的是团聚体发生脆性破裂的临界力,其测定方法简单,可适用于不同土壤和粒径的团聚体。它对土壤微结构和外界条件极为敏感,是用来表征土壤结构质量最有效的指标之一^[1-2]。近年来,学者将团聚体的抗张强度作为可蚀性因子引入 WEEP 模型中,并取得了良好的预测效果^[3]。故研究团聚体抗张强度的影响因素具有十分重要的意义。影响团聚体抗张强度的因素很多,如土壤含水率、粉黏粒含量、有机质含量、铁铝氧化物含量、耕作管理措施以及土地利用方式等。Utomo 等^[4]和 Munkholm 等^[5]发现团聚体的抗张强度随其含水率的增加而降低。团聚体的可分散黏粒含量是抗张强度的主要影响因素,与抗张强度显著正相关^[2,6]。有机质含量对团聚体抗张强度的影响存在不同的研究结果,有机质含量的增加会使团聚体抗张强度在一定范围内增强^[2,7]; Yao 等^[8]和 Guimarães 等^[9]发现团聚体的抗张强度与有机质含量呈正相关关系; Zhang 等^[10]则发现粉砂壤土的团聚体抗张强度与有机质呈负相关性,而在黏土中无明显相关性。Tormena 等^[11]在研究耕作土壤时发现土壤中有机质的含量不能影响其团聚体的抗张强度。胡国成等^[12]和华忠光^[13]在研究红壤时发现,游离氧化铁的含量越高,团聚体的抗张强度越高。在农业生产过程中,不同的生产管理措施和土地耕作方式会极大的影响团聚体的抗张强度^[14]。杨伟^[3]发现土地利用方式是

团聚体抗张强度的影响因素。

目前,对于团聚体抗张强度的研究多局限于单一土壤类型,且相对于团聚体的水稳性,关于土壤团聚体抗张强度及其影响因素的研究相对不足,尤其是土壤中黏土矿物组成对抗张强度的影响。基于此,本文选取了我国中南部 6 种不同风化程度的典型地带性土壤,通过测定不同粒径的团聚体抗张强度,研究土壤团聚体抗张强度地带性变化规律及其与基本理化性质间的关系,为该区域土壤改良治理和水土流失预测工作提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况与采样

研究区位于我国中南部,从北至南,包括河南洛阳、湖北襄阳、湖北咸宁、湖南长沙、广东韶关和海南海口等地,所处气候带从北至南依次为南温带,北亚热带、中亚热带、南亚热带和热带。根据水热条件变化及地带性土壤分布特点共选取 6 种典型地带性土壤(主要位于分布广泛的平缓丘陵区,人为扰动较少且未受到明显侵蚀、土壤层次发育较为完整地段的林、荒地土壤)。供试土样基本情况及分布详见表 1。采样时选取发生层完整、土壤侵蚀度低的典型地带性土壤,按其纵剖面依次选取 A 层(淋溶层)、B 层(淀积层)和 C 层(母质层)。为保证土壤结构不被破坏,用定制的储土盒将土样封好后运回实验室,自然风干后,储藏备用。2015 年 12 月—2016 年 5 月完成了全部土样的采集工作,2016 年 6 月对试样团聚体的抗张强度进行统一测定。

表 1 供试土样基本情况

土样编号	土壤类型	成土母质	采样点坐标	土地利用方式	年均气温/℃	年降水量/mm
LY	褐土	马兰黄土	34°48'N,112°20'E	荒草地	14.7	579.7
XY	黄褐土	第四纪黄土	32°21'N,112°45'E	荒草地	16.0	878.3
XN	棕红壤	第四纪红黏土	30°01'N,114°21'E	苗木林地	16.8	1577.4
CS	红壤	第四纪红黏土	28°29'N,112°54'E	混交林地	17.2	1361.6
SG	赤红壤	第四纪红黏土	24°19'N,113°58'E	混交林地	20.2	1900.0
HK	砖红壤	玄武岩	19°52'N,110°33'E	混交林地	23.8	1664.0

注:表中 LY、XY、XN、CS、SG、HK 分别表示土壤类型为洛阳褐土、襄阳黄褐土、咸宁棕红壤、长沙红壤、韶关赤红壤、海口砖红壤。下同。

1.2 团聚体抗张强度测定

土样风干处理后,分别过筛获得 1~2, 2~3, 3~5, 5~10 mm 共 4 个粒径的团聚体,将其置于 40 ℃ 的恒温条件烘干 24 h 以保证团聚体含水率保持一致。团聚体的抗张强度(TS)采用抗压法测定。将团聚体放置于改进的无侧限压力仪上,通过马达驱动从而恒速挤压团聚体,直至团聚体破碎,测得 P 为团聚体破碎时的临界压力^[15]。装置如图 1 所示。

每种样品至少测定 30 个团聚体。抗张强度计算公式为:

$$TS=0.576\times\frac{P}{D^2} \tag{1}$$

式中:TS 为单个团聚体抗张强度(kPa);P 为团聚体破碎时的最大压力(N);D 为团聚体有效直径(mm);0.576 为常数。

对于不同粒径的团聚体,有效直径的计算方法不同:

(1)对于 1~2 mm 和 2~3 mm 团聚体,团聚体有效直径为最大筛网直径(d_1)和最小筛网直径(d_2)的平均值 D,即:

$$D=D_1=\frac{d_1+d_2}{2} \tag{2}$$

式中: D 为该粒径团聚体的有效直径(mm); D_1 为该粒径团聚体的平均直径(mm)。

(2) 对于 >3 mm 的团聚体, 假设同一粒径级别的团聚体具有相同的容重, 如果同种土壤某种粒级团聚体的平均质量为 M_0 , 则单个团聚体的有效直径计算公式为:

$$D = D_1 \left(\frac{M}{M_0} \right)^{1/3} \quad (3)$$

式中: D 为该粒径团聚体的有效直径(mm); D_1 为该粒径团聚体的平均直径(mm), 如对于 3~5 mm 的团聚体, D_1 取 4 mm, 5~10 mm 的团聚体则取 7.5 (mm); M 为该粒径团聚体质量(g); M_0 某种粒级团聚体的平均质量(g)。

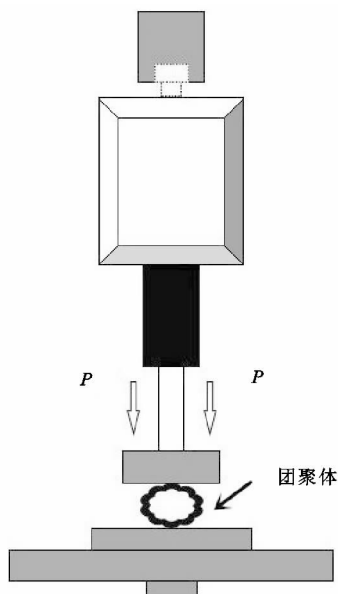


图 1 装置示意

1.3 土壤理化性质分析

土壤理化性质采用常规方法测定^[16], 土壤质地采用吸管法测定; 有机质则使用重铬酸钾外加热法测定; 阳离子交换量(CEC)采用乙酸铵(pH 7.0)交换法测定; pH 采用电极电位法测定(水土质量比 2.5 : 1); 游离氧化物(Fe_d 和 Al_d)采用连二亚硫酸钠—柠檬酸钠—碳酸氢钠(DCB 法)浸提, 非晶质氧化物(Fe_o 和 Al_o)采用草酸—草酸铵缓冲液浸提, 浸提液稀释后用等离子发射光谱(ICP)测定。土壤的黏土矿物类型和相对含量通过 X 射线衍射仪(XRD)测定。每种试样测定 3 个重复。

1.4 数据处理

通过方差分析对土壤理化性质及团聚体抗张强度间的差异性进行分析, 土壤团聚体抗张强度与土壤理化性质关系采用相关性分析与回归分析方法。采用 Microsoft Excel 2016 和 SPSS 19.0 软件进行数据整理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 土壤基本理化性质

土壤的基本理化性质详见表 2。按照美国土壤质地分类制, 将供试土壤质地类型划分为粉黏壤、粉黏土和黏土 3 类, 总体而言供试土壤主要由粉粒和黏粒组成, 两者百分含量达 80% 以上, 且自北向南, 供试土壤的质地更为黏重。供试土壤 pH 为 4.23~7.28, 从北至南, pH 呈现明显的减小趋势, 这主要是因为随着水热条件增加, 土体中盐基离子淋失程度逐渐增加。有机质含量未发现明显的地带性分布规律, 随着土壤层次的加深, 有机质含量呈现明显的减少趋势。对于游离态的铁铝氧化物(Fe_d 和 Al_d), 由北至南, 表现出明显的富集特征, Fe_d 和 Al_d 量逐渐增多, 这是因为随着土壤风化程度的加深, 脱硅富铝化程度逐步加深。供试土壤的 CEC 和非晶质态的铁铝氧化物(Fe_o 、 Al_o), 均未表现出明显的地带性分布规律。

自北向南, 土壤风化程度逐步加深, 土壤的黏土矿物组成由以 2 : 1 型黏土矿物(蛭石、水云母)为主过渡到以 1 : 1 型黏土矿物(高岭石)为主, 膨胀性黏土矿物逐步风化分解, 黏土矿物类别减少, 土壤的发育程度逐渐加深。供试土壤黏土矿物表现较为明显的地带性分布规律。蛭石由水云母晶层释放钾离子形成, 洛阳褐土和襄阳黄褐土的蛭石含量相对较高, 两地土壤处于脱钾阶段; 随着纬度的降低, 土壤 pH 逐步降低, 到长沙红壤时已脱钾完全; 且在较强酸性环境的淋溶作用下, 蛭石层间发生羟基铝化作用, 逐渐向 1.4 nm 过渡矿物转化, 土壤中开始出现 1.4 nm 过渡矿物^[17]。红壤、砖红壤、赤红壤的黏土矿物成分以高岭石为主, 尤其在水热条件丰富的韶关和海口, 黏土矿物的高岭化现象明显, 高岭石含量达 70% 以上。

2.2 团聚体抗张强度

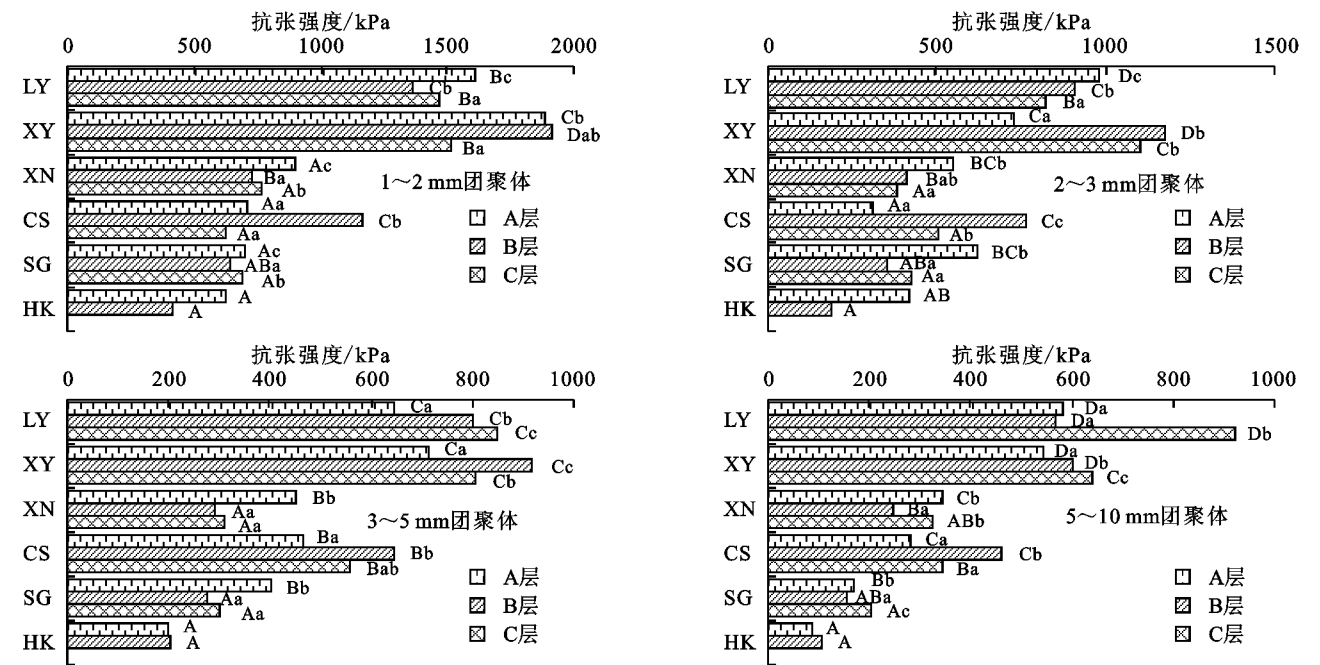
由图 2 可知, 土壤团聚体的抗张强度, 随粒径的增大而逐步减小。这与之前学者的研究结果相一致^[13]。根据团聚体的脆性破裂理论, 大粒径的团聚体是由无数小团聚体胶结而成, 相较于小团聚体, 大团聚体具有更多团聚体间的裂隙及团聚体内部裂隙, 所以其对外界压力的抵抗力更弱, 整个大团聚体的破裂由团聚体内部最弱的裂隙决定^[18]。从地带性角度分析, 除了襄阳黄褐土大部分团聚体的抗张强度要高于洛阳褐土、咸宁棕红壤少部分团聚体的抗张强度低于长沙红壤, 从北至南, 相同粒径团聚体的抗张强度整体呈现明显的减小趋势。

同种土壤和粒径的团聚体, 未发现明显的土壤层次间关系。这可能是因为随着土壤深度的增加, 团聚体的主要胶结物质发生了改变。在有机质含量较高的淋溶层和淀积层, 团聚体的胶结方式较为复杂, 可能是由有机质或有机质和铁铝氧化物共同胶结而成, 而在土壤层次更深的母质层, 团聚体的胶结方式则较为单一。

表 2 供试土壤的基本理化性质

采样点	采样层	质地	机械组成/(g·kg ⁻¹)			pH	容重/ (g·cm ⁻³)	SOC/ (g·kg ⁻¹)	CEC/ (cmol·kg ⁻¹)
			砂粒	粉粒	黏粒				
LY	A	粉黏壤	74±25bc	649±71g	277±50a	7.28±0.07k	1.22±0.04bc	15.56±1.33h	22.09±1.15b
	B	粉黏壤	49±2abc	639±46g	312±47a	7.01±0.03j	1.26±0.04cd	8.72±0.98d	25.81±0.52c
	C	粉黏壤	45±10ab	650±6g	305±4a	7.07±0.03j	1.34±0.01ef	2.27±0.48a	24.64±0.65c
XY	A	粉黏土	39±1ab	502±67e	459±31bcd	6.53±0.24i	1.40±0.08f	9.90±0.69de	31.13±0.07d
	B	粉黏土	20±2a	479±56ef	501±67de	6.95±0.10j	1.50±0.01g	3.01±0.21a	38.44±0.38ef
	C	粉黏土	21±3a	501±53ef	478±56cd	7.06±0.07j	1.50±0.01g	2.55±0.81a	22.34±0.13b
XN	A	粉黏土	151±2e	435±30def	414±28bc	5.23±0.06ef	1.38±0.03f	13.64±0.34g	19.43±0.55a
	B	粉黏土	47±33ab	539±2f	414±31bc	5.57±0.01g	1.48±0.01g	4.94±0.71b	20.08±0.26ab
	C	粉黏壤	126±29e	478±88ef	395±59b	5.75±0.17h	1.49±0.04g	3.58±0.27a	19.86±0.21ab
CS	A	黏土	72±93bc	359±91cd	570±2ef	4.53±0.03bc	1.16±0.01b	16.8±1.28i	36.79±2.82e
	B	粉黏土	81±3ab	449±31de	470±29cd	4.58±0.02c	1.31±0.02de	6.02±0.65bc	37.15±2.60e
	C	黏土	78±32b	314±29bc	608±61	5.64±0.01gh	1.56±0.02h	2.45±1.08a	39.23±1.20ef
SG	A	黏土	77±9b	243±33ab	680±24fe	5.11±0.12de	1.22±0.03bc	10.68±0.25ef	40.78±1.76f
	B	黏土	51±5ab	192±15a	757±10g	5.37±0.11f	1.24±0.03c	5.27±0.29bc	40.51±1.09f
	C	黏土	84±1d	224±7a	692±6eg	4.95±0.18d	1.40±0.02f	2.29±0.05a	36.99±0.94e
HK	A	黏土	84±28d	313±9bc	602±5f	4.39±0.09ab	1.06±0.04a	11.24±1.03f	20.11±2.73ab
	B	黏土	59±4abc	310±14c	631±15fe	4.23±0.01a	1.11±0.03a	6.51±0.31c	18.24±1.45a

采样点	采样层	黏土矿物组成/%				非晶形/(g·kg ⁻¹)		游离态/(g·kg ⁻¹)	
		蛭石	水云母	高岭石	1.4 nm 过渡矿物	氧化铁	氧化铝	氧化铁	氧化铝
LY	A	25	59	16	0	2.08±0.07bc	2.21±0.08ab	14.95±0.66a	1.90±0.12a
	B	26	58	16	0	1.91±0.01bc	2.28±0.22ab	14.5±0.39a	1.73±0.01a
	C	34	55	12	0	1.90±0.03bc	1.96±0.03a	17.1±0.22ab	2.35±0.14ab
XY	A	33	43	24	0	2.62±0.05d	2.91±0.02cd	23.62±0.19c	4.81±0.14c
	B	34	48	18	0	1.12±0.01a	2.67±0.10ab	29.06±0.48d	5.80±0.07d
	C	35	54	11	0	2.31±0.02cd	2.27±0.03ab	19.74±0.27b	2.89±0.07b
XN	A	5	62	33	0	4.40±0.08g	3.11±0.05cd	35.00±0.46e	7.23±0.18e
	B	8	58	34	0	4.67±0.01gh	3.61±0.04de	38.54±0.72f	8.68±0.14f
	C	11	54	35	0	4.97±0.03gh	3.78±0.17e	39.82±0.06f	8.85±0.06f
CS	A	0	64	30	6	4.88±0.79gh	5.70±0.20f	44.08±0.74g	13.11±0.22h
	B	0	61	31	7	5.24±0.30h	5.21±0.48f	46.89±1.19h	13.02±0.25h
	C	0	25	67	8	3.55±0.44ef	4.35±1.29e	65.37±0.43i	10.04±0.02g
SG	A	0	29	67	4	3.23±0.23e	3.40±0.10de	113.80±3.76k	33.05±0.56l
	B	0	18	79	3	1.56±0.16ab	2.77±0.14bc	132.30±0.68n	31.26±0.32k
	C	0	15	80	5	1.76±0.38bc	2.22±0.70ab	105.83±0.74j	27.57±0.42i
HK	A	0	0	92	8	3.84±0.14f	3.74±0.11e	119.78±2.86l	29.94±0.61j
	B	0	0	92	8	3.63±0.01ef	3.60±0.07de	124.40±0.98m	31.13±0.51k



注:相同的大写字母表示相同层次不同土壤间没有明显差异($p<0.05$);相同的小写字母表示不同土壤层次间没有明显差异($p<0.05$)。

图 2 供试土壤不同粒径团聚体的抗张强度地带性分布特征

2.3 团聚体抗张强度影响因素分析

由表 3 可知,1~2 mm 和 3~5 mm 团聚体的抗张强度与砂粒含量显著负相关($p<0.05$),1~2 mm 团聚体的抗张强度与非晶形氧化铁含量呈显著负相关($p<0.05$),2~3 mm 团聚体的抗张强度与非晶形氧化铁、铝含量呈显著负相关,各粒径的团聚体抗张强度与黏粒含量呈显著负相关($p<0.05$),各粒径团聚体的抗张强度与游离氧化铁、铝呈极显著负相关关系($p<0.01$),而与 pH、粉粒含量呈极显著正相关关系($p<0.01$)。各粒径团聚体的抗张强度与土壤中的有机质含量之间没有明显关系,这与 Zhang 等^[10]的研究结果一致。

表 3 团聚体抗张强度与土壤基本理化性质相关关系

指标	$TS_{1\sim 2}$	$TS_{2\sim 3}$	$TS_{3\sim 5}$	$TS_{5\sim 10}$
砂粒	-0.491*	-0.473	-0.496*	-0.394
粉粒	0.701**	0.627**	0.668**	0.808**
黏粒	-0.603*	-0.532*	-0.568*	-0.735*
容重	0.320	0.340	0.391	0.391
孔隙度	-0.283	-0.316	-0.327	-0.330
pH	0.824**	0.814**	0.793**	0.838**
SOM	-0.155	-0.254	-0.079	-0.174
CEC	0.000	0.052	0.147	-0.096
蛭石	0.895**	0.805**	0.793**	0.764**
1.4 nm 过渡矿物	-0.689**	-0.581*	-0.548*	-0.660**
水云母	0.337	0.324	0.449	0.372
高岭石	-0.742**	-0.670**	-0.748**	-0.808**
Fe _o	-0.509*	-0.532*	-0.464	-0.424
Al _o	-0.470	-0.489*	-0.333	-0.442
Fe _d	-0.737**	-0.655**	-0.764**	-0.822**
Al _d	-0.718**	-0.642**	-0.760**	-0.824**

注: $TS_{1\sim 2}$, $TS_{2\sim 3}$, $TS_{3\sim 5}$, $TS_{5\sim 10}$ 分别表示 1~2, 2~3, 3~5, 5~10 mm 粒径团聚体的抗张强度; * 和 ** 分别表示 $p<0.05$ 和 0.01 水平, $n=17$ 。

黏土矿物中蛭石的含量和各粒径团聚体的抗张

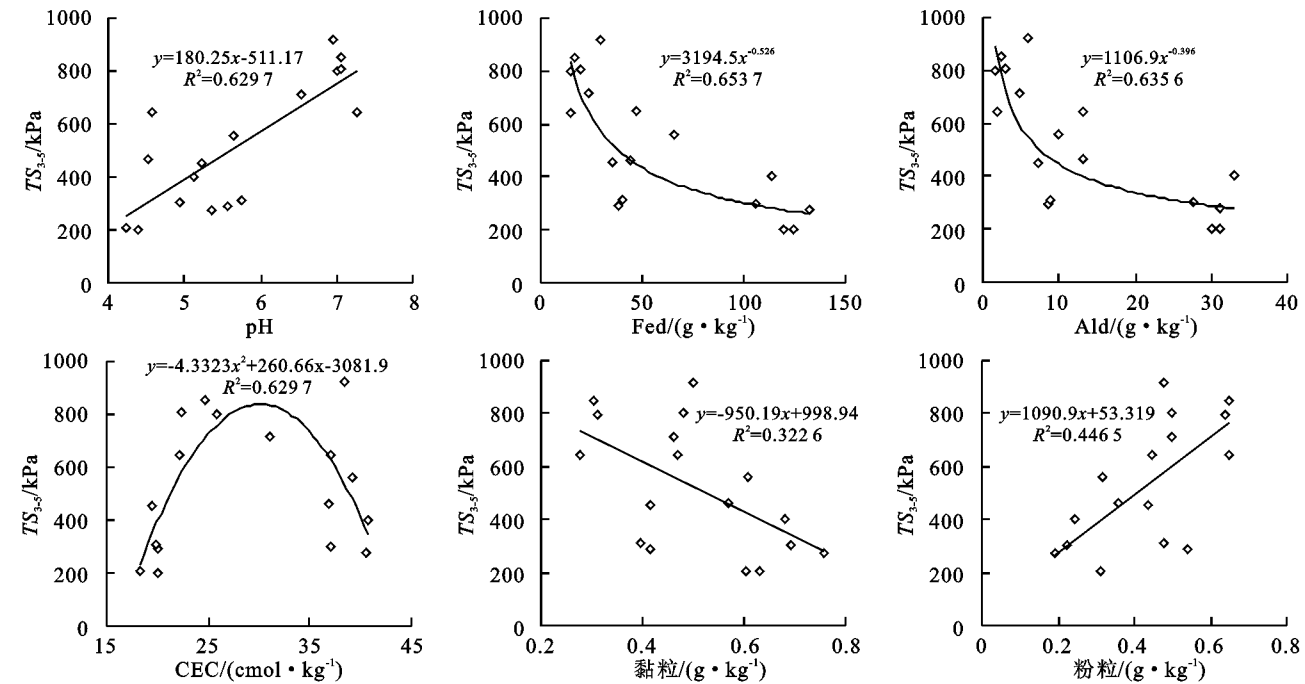


图 3 $TS_{3\sim 5}$ 与理化性质间回归分析

强度呈极显著正相关($p<0.01$),说明蛭石含量越高,团聚体的抗张强度越大。除了 2~5 mm 粒径范围的团聚体抗张强度与 1.4 nm 过渡矿物和高岭石含量呈负相关($p<0.05$),其他粒径都呈现极显著负相关($p<0.01$)。这可能是因为蛭石的比表面积非常大,拥有极强的物理吸附能力,其胶体颗粒所提供的黏着力要远强于其他 3 种类型矿物颗粒,所以这也解释了团聚体抗张强度的地带性变化分布。

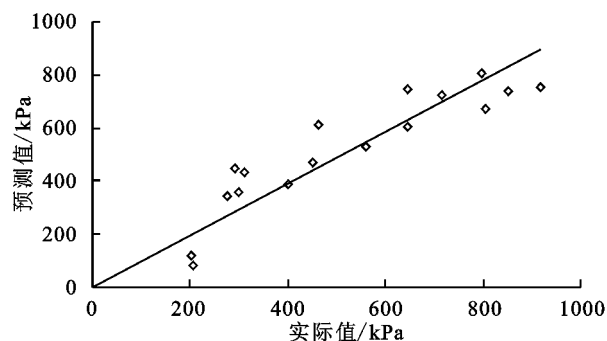
3~5 mm 粒径的团聚体是团聚体稳定性研究中一个重要的粒径,它不仅是 LB 法测定团聚体水稳性的通用粒径,同时也是溅蚀研究中的常用粒径。本研究以 3~5 mm 的团聚体为例,进一步探究该粒径团聚体的抗张强度与基本理化性质间关系。

由图 3 可知,3~5 mm 团聚体的抗张强度随着 pH 和粉粒含量的增加而逐渐增大,随黏粒含量的增大而逐渐减小, $TS_{3\sim 5}$ 与 pH、粉粒和黏粒含量呈现较好的线性关系。 $TS_{3\sim 5}$ 与 CEC 呈二次函数关系。游离氧化铁、铝对 3~5 mm 团聚体的抗张强度的影响是相似的,都是随着其含量的增加而降低,呈现明显的幂函数关系。而这也与前者的研究结果相反^[12,14],这可能是因为他们的试验材料的土壤类型较为单一,且仅选用了表层土壤,而本研究的试验材料采用不同层次的地带性土壤,土壤类型差异较大,团聚体的力稳性特征可能受多种胶结物质的共同作用。逐步回归分析表明, Fe_d 与 CEC 可以很好的预测 3~5 mm 团聚体的抗张强度(图 4)。拟合方程为:

$$TS_{3\sim 5} = -291.8 \ln Fe_d + 12.3 CEC + 1267.1$$

($R^2=0.80$, $p<0.01$, $n=17$)

(4)

图4 TS_{3-5} 预测值与实测值比较

3 结论

(1)自北向南,土壤的 pH 值逐渐降低,高岭石和游离氧化物含量呈现明显的增加趋势;有机质含量随土壤深度的增加而降低;黏土矿物类别逐渐减少,土壤的发育程度逐步加深。土壤的 CEC 和非晶形氧化物含量均未表现出明显的地带性分布规律。

(2)自北向南,地带性土壤团聚体的抗张强度整体上呈现减小的趋势。团聚体的抗张强度随着其粒径的增大而逐渐减小。土壤的粉粒含量,游离氧化铁、铝的含量以及黏土矿物中蛭石、高岭石的含量是地带性土壤团聚体抗张强度最主要的影响因素。

(3)逐步回归分析结果表明,土壤中游离氧化铁和 CEC 的含量是预测地带性土壤 3~5 mm 团聚体抗张强度的最优指标,拟合方程为 $TS_{3-5} = -291.8 \ln Fe_d + 12.3CEC + 1267.1$, $R^2 = 0.80$ 。

参考文献:

[1] Reis D A, Lima C L R D, Pauletto E A, et al. Tensile strength and friability of an Alfisol under agricultural management systems[J]. Scientia Agricola, 2014, 71(2): 163-168.

[2] Imhoff S, Silva A P D, Dexter A. Factors contributing to the tensile strength and friability of oxisols[J]. Soil Science Society of America Journal, 2002, 66(5): 1656-1661.

[3] 杨伟. 典型红壤团聚体力稳性及其与坡面侵蚀的关系[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.

[4] Utomo W H, Dexter A R. Soil friability[J]. Journal of Soil Science, 2006, 32(2): 203-213.

[5] Munkholm L J, Kay, B D. Effect of water regime on aggregate tensile strength, rupture energy and friability [J]. Soil Science Society of America Journal, 2002, 66(3): 702-709.

[6] Bartoli F, Burtin G, Guerif J. Influence of organic matter on aggregation in Oxisols rich in gibbsite or in goethite. II. Clay dispersion, aggregate strength and water-stability[J]. Geoderma, 1992, 54(1/4): 259-274.

[7] Quirk J P, Panbokka C R. Incipient failure of soil aggregates[J]. European Journal of Soil Science, 2010, 13(13): 60-70.

[8] Yao S H, Qin J T, Peng X H, et al. The effects of vegetation on restoration of physical stability of a severely degraded soil in China[J]. Ecological Engineering, 2009, 35(5): 723-734.

[9] Guimarães R M L, Tormena C A, Alves S J, et al. Tensile strength, friability and organic carbon in an Oxisol under a crop-livestock system[J]. Scientia Agricola, 2009, 66(4): 499-505.

[10] Zhang H. Organic matter incorporation affects mechanical properties of soil aggregates[J]. Soil and Tillage Research, 1994, 31(2/3): 263-275.

[11] Tormena C A, Araújo M A, Fidalski J, et al. Quantification of tensile strength and friability of an oxisol under no-tillage[J]. Revista Brasileira De Ciencia Do Solo, 2008, 32(3/6): 943-952.

[12] 胡国成, 章明奎, 韩常灿. 红壤团聚体力学和酸碱稳定性的初步研究[J]. 浙江农业科学, 2000, 1(3): 125-127.

[13] 华忠光. 红壤团聚体力稳性特征及其对土壤溅蚀的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.

[14] Bavoio M A, Giarola N F B, Tormena C A, et al. Soil tillage in grain and silage-producing areas and pasture: effect on tensile strength and aggregate friability[J]. Revista Brasileira De Ciencia Do Solo, 2010, 34(1): 235-244.

[15] Dexter A R, Watts C W. Tensile strength and friability [J]. Soil and Environmental Analysis: Physical Methods, 2000, 2: 405-433.

[16] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 农业出版社, 2000.

[17] 黄丽, 刘凡, 谭文峰, 等. 几种亚热带淋溶土基质和胶膜中 1.4 nm 过渡矿物组成的差异及其意义[J]. 矿物学报, 2002, (4): 315-320.

[18] Braunack M V, Hewitt J S, Dexter A R. Brittle fracture of soil aggregates and the compaction of aggregate beds[J]. European Journal of Soil Science, 2006, 30(4): 653-667.