

硅藻土对上海潮土和黄泥土耕作性能改良的试验研究

璩继立, 赵冬雪

(上海理工大学土木工程系, 上海 200093)

摘要:采用硅藻土对上海两种农业土进行改良试验研究,分析了不同硅藻土体积比对上海潮土和黄泥土稠度指标、水稳定性大团聚体含量和击实性能的影响。试验表明:塑、液限值与硅藻土含量相关系数为 0.981^* 、 0.971^* ,并且硅藻土对塑、液限的影响与土的粘性聚合体含量成反比;硅藻土可以明显增加两种土中粒径大于 0.25 mm 的大团聚体的含量;硅藻土可以显著提高两种土的最优含水率并降低最大干密度,且相关性系数分别为 0.993^* 、 -0.999^{**} 。由此说明,硅藻土可以提高上海农业土的疏松度和保水性能。

关键词:硅藻土;塑限;液限;最大干密度;最优含水率;水稳定性大团聚体

中图分类号:S156

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2015)06-0202-05

Experiment on improvement of farming property of Shanghai calcareous soil and yellow soil by diatomite

QU Jili, ZHAO Dongxue

(College of Civil Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The paper used diatomite to carry out the experiment for two kinds of agricultural soils in Shanghai. According to different diatomite volume ratios, it studied the influence of diatomite on the consistency index, water stable aggregate content and densification performance of calcareous soil and yellow soil. Experiment indicated that the correlation coefficients between diatomite contents with and plastic limit and liquid limit are 0.981^* and 0.971^* respectively, and the influence of diatomite on plastic limit and liquid limit with the content of toviscosity polymer soil is inversely proportional; Diatomite can dramatically increase the content of macro aggregate with the soil particle size greater than 0.25 mm of two kinds of soils; Diatomite can dramatically improve the optimum water content of two kinds of soils and reduce the maximum dry density, and the correlation coefficients are 0.993^* and 0.999^{**} respectively. Therefore, diatomite can improve looseness and water retention performance of agricultural soil in Shanghai region.

Key words: diatomite; plastic limit; liquid limit; maximum dry density; optimum water content; macro aggregate body of water stable

农药和化肥的使用,在创造高产的同时,也造成土壤板结,养分低,保水性能差。因此,减少化肥的使用,采用土体改良剂改善土壤性能的方法,成为现代农业发展的新方向。

Wallace 和 Terry 研究表明,应用土体改良剂,可增强土体结构性、透气性和排水功能,同时还可以提高土体保水性能,减小土的压实性,促进作物生长,提高产量。目前,已经有大量土体改良剂被应用于改善土体性能。硅藻土具有很强的吸湿性能,吸水

率是自身体积的 $2\sim4$ 倍;若把它施入干旱土壤中,则能吸收空气中的水分并将其保持在土壤中^[1]。因此起到保湿、疏松土质、延长药效肥效时间,助长农作物生长的作用^[2]。硅藻土白色粉末状固体,主要成分为 SiO_2 ,其构造含有多孔、细腻、松散、吸水性和渗透性强等特点。Aksakal 等^[3]以硅藻土为土体改良剂,指出硅藻土可以改良土壤性能,提高土壤保水性能。但是,鲜有人研究硅藻土改良剂对不同粘性土的改良性能的影响。

收稿日期:2015-06-05; 修回日期:2015-07-10

基金项目:诺华上海实验室科研项目(3A-11-307-110)

作者简介:璩继立(1964-),男,河南孟州人,博士后,副教授,硕士生导师,主要从事岩土工程、水文地质等方面的研究。

通讯作者:赵冬雪(1991-),女,黑龙江绥化人,硕士研究生,研究方向:岩土工程。

本文基于 SPSS 统计分析软件,分析了塑、液限,最大干密度和最优含水率、水稳定性大团聚体含量等指标与硅藻土含量的相关性,并对塑、液限值进行

均值分析,探究了硅藻土改良剂对两种不同粘性的上海农业土的改良效果,为这两种上海土壤的改良和硅藻土的合理利用提供了科学借鉴。

表 1 硅藻土化学成分表

化学成分占百分比 / %						含量 / (mg · kg ⁻¹)	
含水量	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	砷(以 As 计)	铅(以 Pb 计)
≤1	≥90.6	≤1.5	≤2.5	≤0.4	≤0.4	<0.1	<0.1

1 试验材料

1.1 硅藻土

试验所用硅藻土采购于上海锦悦化工有限公司,外观为白色粉末状固体如图 1 所示,平均粒径为 8~13 μm,湿密度为 0.42 g/cm³,质密度为 2.1~2.3 g/cm³,目数为 100 目,化学成分如表 1 所示。

1.2 上海潮土

夹沙灰潮土土种,归属于灰潮土亚类灰潮土土属,一般为粉砂粘壤土,主要分布于上海市川沙、南汇、奉贤和崇明等县的滨海平原,其中以南汇面积最大,海拔 3.5~4.5 m,面积 34 万亩。试验所用的潮土取自崇明合作公社蜆镇九队,取土深度 0~10 cm。取土点位于滨海平原,海拔 3.8 m,年平均 15.2℃,年降水量 976.3 mm,无霜期 230 d, ≥10℃有效积温 2 599℃。

1.3 上海黄泥土

黄泥盐化土土种,归属于滨海盐土亚类,盐化土土属,主要分布于上海市南汇、奉贤和崇明等境内的沿海国营农场及相邻乡村,海拔 3.2~3.8 m,面积 10.5 万亩。试验所用黄泥土取自南汇县滨海平原,取土深度 0~10 cm。取土点海拔 3.5 m,年均温 15.5℃,年降水量 1 063.4 mm,无霜期 232 d, ≥10℃有效积温 2 632℃,江海沉积母质,旱作。

2 试验方案

2.1 液塑限测定试验

采用液塑限联合测定法,仪器为液塑限仪为浙江土工仪器制造有限公司生产的 STYS-1 型数显液塑限联合测定仪(型号:76 g 圆锥仪,锥角 30°)。

按照《公路土工试验规程》(JTG E40-2007)^[4]的要求制备塑限液限联合测定的试样,如图 2 所示。将土样在自然条件下风干,用橡皮锤碾碎并去除土样中大于 0.5 mm 的土粒和石头杂质,并过 0.5 mm 筛。取 0.5 mm 筛下的代表性土样 200 g,分别放入三个盛土皿中,加不同数量的蒸馏水,用调土刀调匀,放置 18 h 以上,制得素土土样。同时,将素土分别与硅藻土以体积比为 10%、20%、30% 进行混合,得到试样,将试样在恒温恒湿条件下养护 18 h 以上,制得硅藻土土样。然后,严格按照试验规程要求,分别对每个试样进行液塑限联合测定试验。

2.2 击实性能试验

采用轻型 I-1 型号的小型击实仪,产自为浙江土工仪器制造有限公司。

按 2.1 节方法制备素土试样和硅藻土对比试样,如图 3 所示然后规程要求在恒温恒湿条件下养护试样 18 h 以上^[4];最后,通过三分法进行击实试验。

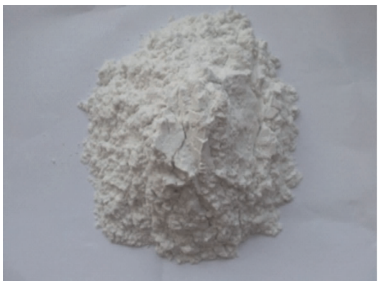


图 1 硅藻土

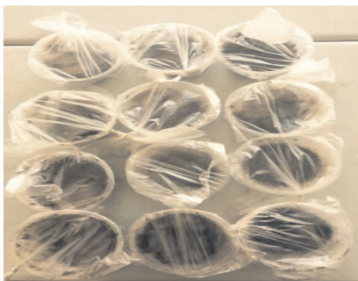


图 2 液限塑限联合测定试样



图 3 击实试验试样

2.3 水稳定性大团聚体组成测定试验

按规程用铝制盒在田间多点(3~5 点)采集有

代表性的原状土样^[4],并注意保持土壤原有结构状态。将土样剥碎后置于通风口处风干,按试验方案

将风干后土样与硅藻土进行配比。按《中华人民共和国农业行业标注》(NT/T1121.19-2008)^[5]规定,进行湿筛分析试验。

3 试验结果与讨论

3.1 硅藻土对塑、液限的影响

3.1.1 对液限的影响 硅藻土对液限的影响,如表2所示。从表中看出:硅藻土明显提高了两种土的液限值。随着硅藻土含量的增加,上海潮土的液限明显提高,而硅藻土含量对上海黄泥土液限的影响相对较弱,这是因为上海黄泥土具有较高的粘性和粘性聚合物含量。两种土都在硅藻土含量最高(30%)时液限值最大。对应硅藻土含量10%,20%和30%,上海潮土的液限增长率分别为10.9%,16.2%和27.3%,而黄泥土的增长率分别为-10.7%,9.0%和14.1%。可见,硅藻土对粘性较低的上海潮土的液限的提高更为明显。此外,表3为两种土的相关性。由表3看出:上海潮土和上海

黄泥土的液限与硅藻土的相关性系数分别为0.992 **,0.895。这表明硅藻土对上述土体液限的影响效果与土的粘性聚合物含量成反比。

表2 硅藻土对塑、液限和塑液限指数的影响(Mean ± SD) (p < 0.05)

土壤	体积比/%	液限、塑限、塑液限指数 p / %		
		LL	PL	PI
潮土	0	35.9 ± 1.1a	23.4 ± 0.4b	12.5 ± 0.7b
	10	39.8 ± 1.1a	25.2 ± 0.2b	14.6 ± 1.2b
	20	41.7 ± 0.6a	25.8 ± 0.2a	15.9 ± 0.7a
	30	45.7 ± 0.7a	26.9 ± 0.8a	18.8 ± 0.7a
	平均值	40.8 ± 4.1A	25.3 ± 1.5A	15.5 ± 2.6B
黄泥土	0	41.2 ± 1.1b	21.3 ± 0.6b	19.9 ± 1.4a
	10	38.3 ± 0.3c	19.5 ± 0.8b	18.8 ± 0.7b
	20	44.9 ± 0.4a	22.9 ± 1.0b	21.5 ± 0.2a
	30	47.0 ± 0.5a	23.1 ± 0.2a	23.9 ± 0.4a
	平均值	42.9 ± 3.9A	21.7 ± 1.7B	21.0 ± 2.2A

注:1. 每一列中大写字母 ABC 表示不同土壤间的显著性差异,小写字母 abc 表示同一种土硅藻土不同体积比时的显著性差异; 2. LL:液限; PL:塑限; PI:塑液限。

表3 两种土的相关性分析

	硅藻土	团聚体稳定性						LL	PL	PI	最优含水率	最大干密度
		<0.25	0.25~0.5	0.5~1	1~2	2~5	>5					
潮土	硅藻土											
	<0.25	-0.756										
	0.5~0.25	0.878	-0.891									
	1~0.5	0.605	-0.979 *	0.816								
	2~1	0.323	-0.861	0.643	0.947 *							
	5~2	0.936 *	-0.852	0.989 **	0.749	0.537						
	>5	-0.724	0.906 *	-0.964 *	-0.885	-0.791	-0.913 *					
	LL	0.992 **	-0.770	0.923 *	0.629	0.363	0.970 *	-0.788				
	PL	-0.019	-0.578	0.157	0.697	0.803	0.065	-0.302	-0.044			
	PI	0.936 *	-0.544	0.817	0.375	0.093	0.890	-0.646	0.951 *	-0.349		
黄泥土	最优含水率	0.999 *	-0.751	0.864	0.599	0.314	0.925 *	-0.706	0.987 **	-0.011	0.929 *	
	最大干密度	-0.995 **	0.810	-0.917 *	-0.673	-0.408	-0.962 *	0.785	-0.995 **	-0.043	-0.920 *	-0.993 **
	硅藻土											
	<0.25	0.243										
	0.5~0.25	-0.008	0.871									
	1~0.5	-0.833	-0.190	0.260								
	2~1	-0.951 *	-0.531	-0.271	0.787							
	5~2	0.695	-0.290	-0.668	-0.884	-0.514						
	>5	0.645	-0.448	-0.759	-0.790	-0.420	0.983 **					
	LL	0.895	0.581	0.434	-0.608	-0.968 *	0.314	0.238				
	PL	-0.165	-0.957 *	-0.972 *	-0.030	0.449	0.485	0.607	-0.569			
	PI	0.582	0.877	0.806	-0.311	-0.788	-0.115	-0.228	0.876	-0.896		
	最优含水率	0.997 **	0.304	0.068	-0.805	-0.968 *	0.639	0.584	0.927 *	-0.237	0.641	
	最大干密度	-0.981 **	-0.408	-0.187	0.767	0.987 **	-0.551	-0.485	-0.965 *	0.352	-0.729	-0.993 **

注:LL:液限;PL:塑限;PI:塑液限指数; ** 相关性的显著性水平为0.01; * 相关性的显著性水平为0.05。

3.1.2 对塑限的影响 硅藻土对塑限的影响较为明显,如表2所示。与液限相同,硅藻土提高了两种土的塑限值,均在最大含量30%时,塑限达到最大

值。由对比试验可知,潮土塑限的最大增长率为15%,而黄泥土塑限的增长率相对较小,仅为8.4%。上海潮土和黄泥土的塑限与硅藻土的相关性系数

(如表 3),分别为 0.936* 和 0.582。表明随着土体粘性的增强,矽藻土对土的塑限的影响逐渐减弱。

3.1.3 对塑性指数的影响 塑性指数表示土处在可塑状态的含水量变化范围,综合反映了影响粘性土特征的各种因素。塑性指数越大,表明土的颗粒越细,比表面积愈大,土处在可塑状态的含水量变化范围就愈大^[6]。黄泥土的塑性指数要高于潮土(如表 2),说明黄泥土相对于潮土更易于压密,且具有较宽的含水量范围。 $PL < 7\%$ 为低塑性土, $7\% < PL < 17\%$ 为中等塑性土, $PL > 17\%$ 为高塑性土,基于这个准则,通过表 2 中矽藻土含量为 0 时的塑性指数值判定:黄泥土是高塑性土,潮土是中等塑性土。因此潮土发生变形时,处于可塑状态的含水量变化范围较小。

由于矽藻土提高了土的塑、液限值,因此塑性指数也随之发生变化,如表 2 所示。对于潮土,塑性指数随着矽藻土含量的增加而提高,最大增长率分别为 50.4%。同样,与对照组相比,黄泥土塑性指数整体有所增加。

3.2 矽藻土对击实试验参数的影响

表 4 对两种土的平均值进行了相关性分析,得出矽藻土对两种土的最大干密度和最优含水率的影响是统计显著的,显著性水平 < 0.05 。在不同矽藻土含量下,两种土的最大干密度和最优含水率的关系通过标准普氏压实试验得到,试验结果如图 4 所示。随着矽藻土含量的增加,最大干密度呈现逐渐减小的趋势,而最优含水率呈现逐渐增大的规律。尤其对于粘性较低的潮土,效果更为显著。

表 4 两种土平均值的相关性分析

	矽藻土	团聚体稳定性		LL	PL	PI	最优含水率	最大干密度
		< 0.25	> 0.25					
团聚体稳定性	矽藻土							
	< 0.25	-0.265						
	> 0.25	0.884*	-0.558					
	LL	0.981*	-0.091	0.782				
	PL	0.971*	-0.107	0.747	0.995**			
	PI	0.975*	-0.048	0.803	0.992**	0.973*		
	最优含水率	0.993*	-0.154	0.842	0.994**	0.982*	0.994**	
	最大干密度	-0.999**	0.273	-0.897	-0.976*	-0.963*	-0.974*	-0.992**

注: LL:液限; PL:塑限; PI: 塑液限指数; ** 相关性的显著性水平为 0.01; * 相关性的显著性水平为 0.05。

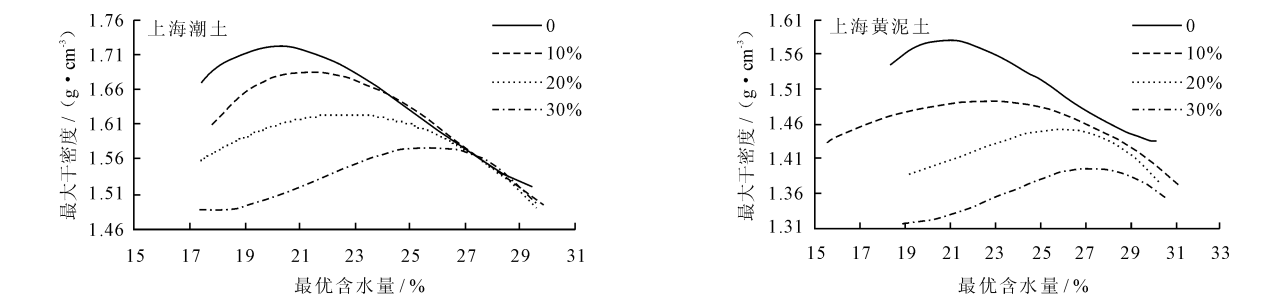


图 4 普氏压实试验曲线

由表 4 得到最大干密度与矽藻土含量的相关性系数为 -0.999^{**} ,而最优含水率与矽藻土含量的相关系数为 0.993^{*} ($p < 0.05$)。由表 5 矽藻土对最大干密度和最优含水量的影响可得,在所有研究组别中,当矽藻土最大含量为 30% 时,取得最小的最大干密度与最大的最优含水率。在素土试验中,潮土和黄泥土的最大干密度值分别为 1.72、1.59 g/cm^3 ,最优含水率分别为 21%、23%。可见,粘性低的潮土取到较大的最大干密度和较小的最优含水率。最大干密度所对应的最优含水率随着土粘性的

增大而增大,说明矽藻土提高了土的粘性。

同时,由表 4 得出最优含水量与 LL、PL、PI 的相关性系数为 0.994^{**} 、 0.982^{*} 、 0.994^{**} ,说明最优含水量与塑、液限之间存在明显的线性相关性。矽藻土增强了土体抵抗外部机械力的能力。在农业方面,可通过提高塑、液限值和最优含水率来增强田地持水能力。

3.3 矽藻土对水稳定性大团聚体含量的影响

土壤团聚体是由土粒胶结成粒状和小团块状、大体成球状的土团^[7]。团聚体的稳定性指的是团

聚体抵抗外部作用或外部环境变化而保持原来形状的能力。一般将粒径小于 0.25 mm 的定义为微团聚体,粒径大于 0.25 mm 的定义为大团聚体。适宜作物生长的为大团聚体,空隙较多,利于保水保肥,为植物生长提供充足水分。

表 5 硅藻土对最大干密度和最优含水率的影响 (Mean ± SD) (p < 0.05)

土壤	体积比	最大干密度 / (g · cm ⁻³)	最优含 水率/%
黄泥土	0	1.58 ± 0.03a	22.81 ± 0.61a
	10%	1.50 ± 0.05a	24.71 ± 0.2a
	20%	1.45 ± 0.02b	27.77 ± 1.05a
	30%	1.39 ± 0.04c	29.93 ± 0.2a
	平均值	1.48 ± 0.14B	26.31 ± 2.1A
潮土	0	1.72 ± 0.01a	20.8 ± 0.08c
	10%	1.66 ± 0.01b	21.22 ± 0.22b
	20%	1.62 ± 0.01c	22.56 ± 0.06a
	30%	1.57 ± 0.02d	25.17 ± 0.17a
	平均值	1.64 ± 0.05C	22.44 ± 0.53C

注:每一列中大写字母 ABC 表示不同土壤间的显著性差异,小写字母 abc 表示同一种土硅藻土不同体积比时的显著性差异。

不同硅藻土体积比下土的团聚体含量,如表 6 所示。可见硅藻土使两种土的小团聚体含量有一定程度的减少。潮土在硅藻土体积比 20% 时,小团聚体含量减少了 35%;黄泥土在硅藻土体积比为 20% 时,小团聚体减少了 11.8%。硅藻土增加了大团聚体的含量:潮土在硅藻土体积比 20% 时,大团聚体含量增加了 17%;黄泥土在硅藻土体积比为 20% 时,大团聚体增加了 3.4%。

表 6 不同硅藻土体积比下土的团聚体含量 %

硅土体 积比	<0.25 mm			>0.25 mm		
	潮土	黄泥土	平均值	潮土	黄泥土	平均值
0	32.36	22.62	27.49	67.62	77.37	72.50
10	21.55	22.28	21.90	78.44	77.72	78.00
20	20.85	19.95	20.40	79.15	80.05	79.60
30	21.90	24.59	23.20	78.11	75.42	76.80

试验表明硅藻土可以有效地减少土体中小团聚体颗粒的含量,并有效地增加大团聚体颗粒的含量。硅藻土体积比为 10%、20% 和 30% 时,水稳定性大团聚体含量分别增加了 7.5%、9.8% 和 5.9%,其中硅土比 20% 时,水稳性大团聚体含量达到最大。由此可见,硅藻土可提高并协调土壤保水保肥能力。

4 结 语

试验结果表明:硅藻土可以增强上海农业土的物理力学性能,具体结论如下:

(1)运用硅藻土改良剂研究上海农业土,土样的塑限、液限和塑性指数明显提高。两种土都在硅藻土体积比为 30% 时,塑、液限值和塑性指数增长率达到最高。潮土和黄泥土的塑限最大增长率分别为 15%、8.4%,液限最大增长率分别为 27.3%、14.1%,塑性指数最大增长率分别为 50.4% 和 10%。硅藻土对两种土塑限、液限和塑性指数的影响随着土粘性的降低而增强。

(2)试验结果在显著性水平为 $p < 0.05$ 上表明:随着硅藻土含量的增加,最大干密度逐渐减小,最优含水率逐渐增大。在硅藻土体积比 30% 时,得到最小的最大干密度和最大的最优含水量。

(3)硅藻土可以显著提高土体中粒径大于 0.25 mm 水稳定性大团聚体的含量,减小粒径小于 0.25 mm 微团聚体的含量,其中水稳定性大团聚体与硅藻土含量的相关系数为 0.884*。

综上所述,应用硅藻土改良上海农业土可以显著降低最大干密度和提高最优含水量,增加水稳定性大团聚体的含量,从而提高土体抵抗外部机械力的能力。硅藻土能够提高试验土体的塑、液限和塑性指数值,从而提高土体保水能力和增大土壤疏松度,实现土壤在高湿度下耕种。因此,硅藻土可作为上海农业土改良的有效措施。

参考文献:

[1] 郑水林. 非金属矿加工与应用[M]. 北京:化学工业出版社,2009.

[2] 刘 洁,赵东风. 硅藻土的研究现状及进展[J]. 环境科学与管理,2009,34(5):104-106+161.

[3] Aksakal E L, Angin I, Oztas T. Effects of diatomite on soil physical properties[J]. Catena, 2012, 88(1): 1-5.

[4] 中华人民共和国交通部. JTG E40-2007 公路土工试验规程[S]. 北京:人民交通出版社,2007:145-148.

[5] 中华人民共和国农业部. NY/T 1121.19-2008 土壤检测[S]. 北京:中国农业出版社,2008.

[6] 璩继立. 土力学[M]. 北京:中国电力出版社,2014:23-24.

[7] Adesodun J K, Mbagwu J S C, Oti N. Distribution of carbon, nitrogen and phosphorus in water-stable aggregates of an organic waste amended Ultisol in southern Nigeria [J]. Bioresource technology, 2005, 96(4): 509-516.