

运用万能材料力学试验机测定土壤力学稳定性的方法及应用

余文钟^{1,2},余丹阳^{1,2},毕利东^{1,2},柳开楼³ (1.南方地区高效灌排与农业水土环境教育部重点实验室,江苏南京 210098;2. 河海大学水利水电学院,江苏南京 210098;3. 江西省红壤研究所,江西南昌 330046)

摘要 [目的]为了分析运用万能材料力学试验机测定土壤力学稳定性的优越性,并且探究不同施肥制度对土壤物理性质的影响。[方法]以江西省红壤研究所水田长期定位试验土壤为对象,将其分为4组,并做对照试验。[结果]Control、TNPK、NPK+GM和NPK+GM+PM四组的平均抗压强度分别是0.562、0.460、0.362和0.313 MPa。与传统方法相比,万能材料力学试验机测出的抗压强度平均值与传统方法相当,但其精度具有显著优势,还能获取土壤弹性模量,破坏能量等指标。[结论]长期配施有机肥可以改善红壤稻田土壤物理性状,使稻田土壤更为松软,更加有利于作物生长。
关键词 无侧限抗压强度;红壤性水稻土;土壤结构;长期施肥
中图分类号 S152.9 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)20-087-03

A Method for Compressive Strength of Soil Measured by Universal Material Testing Machine and Its Application
SHE Wen-chong^{1,2}, YU Dan-yang^{1,2}, Bi Li-dong^{1,2} et al (1. Key Laboratory of Efficient Irrigation-Drainage and Agricultural Soil-Water Environment in Southern China, Ministry of Education, Nanjing, Jiangsu 210098; 2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098)
Abstract [Objective] The advantage of determining compressive strength of soil was analyzed using the universal material testing machine, and the influence of different fertilization systems on soil physical properties was studied. [Method] Taken the soil from long-term organic fertilization experiment in Jiangxi institute of red soil as test object, it could be divided into four groups and a controlled trial was made. [Result] A case study showed that the average compressive strength of Control, TNPK, NPK + GM and NPK + GM + PM were 0.562, 0.460, 0.362 and 0.313 MPa. Compared with the traditional method, the data measured by new approach was similar to the old way's, but the standard deviation of new data was less. The new approach could get the data of the soil elastic modulus and break energy, etc. [Conclusion] Long-term application of organic fertility can improve the character of red paddy soil so that it is more beneficial to the growth of crops.
Key words Unconfined compressive strength; Red paddy soil; Soil structure; Long-term fertilization

土壤力学稳定性指土壤抵抗外力作用或外部环境变化而保持其原有结构形态的能力。研究土壤结构稳定性,对于确定合理土壤耕作方法以及维持和保障土壤肥力具有重要的意义^[1-2]。传统土壤结构力学稳定性的测定方法是利用土壤黏结力测定仪进行测量。在整个过程都是由人为读数记录土块破碎时的最大应力。这在研究土壤应变、应力应变关系等方面存在明显不足^[3]。以江西省红壤研究所水田长期定位试验土壤为对象,依照标准的材料力学方法测定红壤性水稻土重塑土壤力学性质。利用传感器与计算机读数,大大提高土壤破坏过程中压力与应变的读数精度和数据量。精确计算出土壤的弹性模量和破坏所需的能量,不仅使研究方法更加科学、简便,而且更有效地解决了传统仪器误差大、主观性强等缺点。

1 材料与方法

1.1 供试土壤 土壤样品为红壤性水稻土,采自江西省红

壤研究所(28°21' N,116°10' E)有机肥长期定位试验地。研究区域平均海拔高度26 m,属亚热带季风气候,年平均气温18.1℃,年均降雨量1 727 mm。在试验开始前,0~20 cm耕层土壤基本农化性状为:pH 5.7,有机碳16.2 g/kg,全氮1.58 g/kg,全磷0.51 g/kg,碱解氮144 mg/kg,有效磷10.3 mg/kg,速效钾38.2 mg/kg,CEC 5.45 cmol/kg。

1.2 试验设计 该试验控制化肥和有机肥作为试验变量。研究表明,化肥与有机肥(猪粪和紫云英)长期配施可显著地降低土壤容重和土粒密度,提高孔隙度,有利于改善土壤物理质量,提高土壤结构稳定性^[4]。因此,选择无肥对照(Control)、全量氮磷钾(TNPK)、化肥紫云英配施(NPK+GM)及化肥紫云英猪粪配施(NPK+GM+PM)4组处理做试验对比,以期说明新旧方法的差异性和优劣性。各处理肥料投入量见表1。

表1 进贤有机肥长期定位试验各处理肥料投入量

处理	早稻			晚稻		
	紫云英//t/hm ²	猪粪//t/hm ²	化肥(NPK)//kg/hm ²	猪粪//t/hm ²	稻草//t/hm ²	化肥(NPK)//kg/hm ²
Control	无肥对照					
TNPK	早、晚稻每季N 160 kg/hm ² ,P 16.4 kg/hm ² ,K 100 kg/hm ²					
NPK+GM	2.25		70-6.5-28			70-6.5-28
NPK+GM+PM	2.25	7.9	70-6.5-28			70-6.5-28

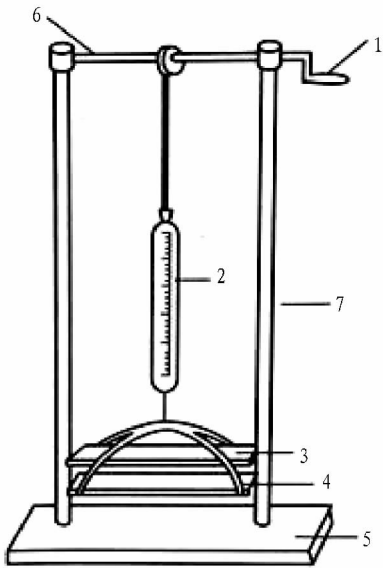
注:有机肥投入量均为折合烘干重。

1.3 试验方法

1.3.1 试样制备。称量一定量的干燥土壤于烧杯中,加水没过土壤,混合,并轻微搅拌,模拟田间翻耕过程。搅拌后静置4 min,待土壤沉积稳定后用滴管吸取多余水分。同时,在

立方体模具内壁涂抹一薄层凡士林,然后用刮刀将饱和土壤均匀填入模具中进行重塑。将土壤与模具放在阴凉干燥处自然风干 48 h 后,再装入铝盒,放入设定为 50 ℃ 的烘箱,烘干 48 h 至恒重。每个处理重复 5 次。

1.3.2 强度测定。传统的测定方法利用土壤黏结力测定仪(图 1)。首先,调整测定仪,使弹簧拉力计的指针位于零点,将试样至于两活动板之间,顺时针转动把手,将试样挤压于活动板之间,此时缠在轮上的绳紧牵拉力计及固定下部的活动板以造成拉力计弹簧的张紧。持续转动把手至试样破碎为止,及时记下作用于试样的压力。详细步骤参见《土壤物理研究法》^[3]。在基于材料力学理论的方法中,利用美特斯万能材料试验机(图 2),用轻质的铝合金作为材料制成其压盘,在最大程度减小误差。将制备好的试样放入试验机,设置试验测试速度为 2 mm/min,使用 200 N 压力传感器,将试样放入仪器,并与活动板接触后,点击启动按钮开始测试,并且利用计算机读出压力—应变曲线。



注:1.把手;2.弹簧拉力计;3.固定板;4.活动板;5.基座;6.活动轴;7.支架。

图 1 土壤黏结力测定仪

1.3.3 结果计算。用游标卡尺测量每个试样侧表面的长与宽,计算侧表面面积(S),再通过计算机导出数据,读出压力—应变曲线中压力最大值(P)。由压强公式 $\sigma = P/S$,计算出重塑土的无侧限抗压强度。在压力—应变曲线中弹性阶段,由公式 $E = \sigma/\varepsilon = P/(S \cdot \varepsilon)$ 计算出弹性破坏过程中的弹性模量,同时对试样破坏点前的曲线进行积分,计

算出破坏过程所需的能量(Q)。

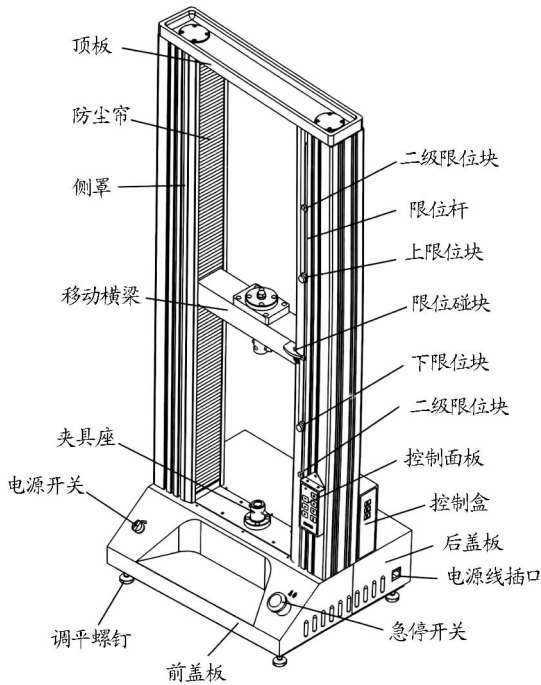


图 2 万能材料试验机示意图

2 结果与分析

2.1 土壤抗压强度 土壤的抗压强度能够直接反映土壤结构力学稳定性。它受土壤孔隙状况、土壤质地、黏土矿物种类等多种土壤物理特性的影响。这对于研究作物生长的土壤环境、根系穿插及养分吸收有重要意义^[5-6]。由表 2 可知,采用传统方法,Control、TNPK、NPK + OM、NPK + OM + PM 4 种处理的土壤平均抗压强度依次为 0.512、0.401、0.336、0.305 MPa,各组变异系数在 7.7% ~ 21.4% 之间。比较而言,运用万能材料力学试验机测定的结果依次为 0.562、0.460、0.362、0.313 MPa,各组变异系数在 2.0% ~ 6.9% 之间。采取改进方法所测数据的变异系数明显小于传统方法,因此其重复性较好,试验精度较高。产生原因主要是由于传统的测量方法在加压过程中难以做到恒定、精确地施加压力或位移,导致试样所受压力的增长不稳定^[3]。此外,传统仪器只由一个固定夹板及一个活动夹板固定试样,避免不了试样受力时由于夹板不稳定而产生的偏心力,导致测量出的数据相比实际情况偏小。利用万能材料试验机改进后的方法能够以恒定的位移变化率移动的特性,对试样表面产生的压力增长较稳定,同时由于所施加的压力通过轴心,不存在偏心受压的情况。

表 2 传统方法与改进方法所测重塑土抗压强度

样品	Control		TNPK		NPK + OM		NPK + OM + PM		MPa
编号	传统方法	改进方法	传统方法	改进方法	传统方法	改进方法	传统方法	改进方法	
1	0.524	0.563	0.377	0.456	0.286	0.322	0.251	0.335	
2	0.476	0.557	0.389	0.358	0.381	0.367	0.319	0.300	
3	0.577	0.549	0.426	0.470	0.435	0.382	0.347	0.314	
4	0.515	0.579	0.374	0.465	0.316	0.381	0.263	0.314	
5	0.468	0.562	0.442	0.449	0.260	0.355	0.344	0.300	
平均值	0.512 ± 0.044	0.562 ± 0.011	0.401 ± 0.031	0.460 ± 0.010	0.336 ± 0.072	0.362 ± 0.025	0.305 ± 0.045	0.313 ± 0.014	

2.2 弹性模量及破坏能量 在经典材料力学理论中,弹性模量是衡量材料产生弹性变形难易程度的指标。其值越大,使材料发生一定弹性变形的应力也越大,亦即在一定应力作用下,发生弹性变形越小^[7]。李敏等^[8]曾利用 CBR 试验仪进行土壤无限限抗压强度的试验,但采取该方法只能读出土壤破坏时的压力大小。而该方法通过计算机与万能材料试验机的连接,可以采集压力—应变曲线,借此能精确求得试样的抗压强度、弹性模量及破坏能量,相比于传统方法能够得出土壤更多的力学特性,效率更高,有利于对土壤各方面力学特性的研究,从而综合分析土壤力学稳定性的影响机制。由图 3 可知,各组土壤在进行无限限抗压强度破坏时的压力—应变关系具有明显的差异。由表 3 可知,与各施肥处理相比,无肥对照处理(Control)弹性模量显著较高。

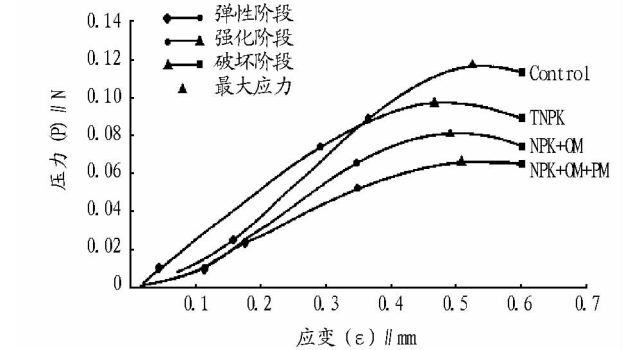


图 3 重塑土壤压力—应变曲线

表 3 重塑土壤弹性模量					GPa	
样品编号	Control	TNPK	NPK + OM	NPK + OM + PM		
1	1.573	1.250	0.789	1.153		
2	1.515	0.919	1.114	0.840		
3	1.802	1.190	1.218	0.883		
4	1.461	1.561	1.182	0.744		
5	1.430	1.470	0.987	0.827		
平均值	1.556 ± 0.148	1.278 ± 0.252	1.058 ± 0.174	0.889 ± 0.156		

由表 4 可知,利用材料力学的方法,4 种处理的土壤试样在其破坏过程中破坏所需的能量分别为 0.032、0.027、0.022、0.019 J,与抗压强度所反映出的规律性、差异性类似,即 Control > TNPK > NPK + OM > NPK + OM + PM。由此可

知,长期配施有机肥比配施化肥更能够有效改善土壤物理性状,预防土壤板结^[9-12]。

表 4 重塑土壤破坏能量

样品编号	Control	TNPK	NPK + OM	NPK + OM + PM	J
1	0.033	0.028	0.022	0.021	
2	0.033	0.026	0.022	0.019	
3	0.031	0.029	0.021	0.019	
4	0.031	0.027	0.023	0.020	
5	0.034	0.027	0.021	0.018	
平均值	0.032 ± 0.001	0.027 ± 0.001	0.022 ± 0.001	0.019 ± 0.001	

3 结论

与传统土壤黏结力测定仪相比,运用万能材料力学试验机测定土壤抗压强度能有效地规避人为、外界的影响,提高试验精度和测定指标。这对未来土壤力学结构稳定性形成机制的深入研究具有重要意义。研究表明,与无肥对照及单施化肥相比,长期配施有机肥能够有效改善土壤物理性状,预防土壤板结。

参考文献

[1] 彭新华,张斌,赵其国. 土壤有机碳库与土壤结构稳定性关系的研究进展[J]. 土壤学报,2004,41(4):618-623.

[2] 李小昱,雷廷武,王伟. 土壤抗压强度的试验研究[J]. 农业工程学报,2001,17(5):19-21.

[3] 依艳丽. 土壤物理研究法[M]. 北京:北京大学出版社,2009.

[4] 鲁艳红. 长期施肥条件下红壤性水稻土有机质特征及其与土壤质量关系[D]. 长沙:湖南农业大学,2001:67-68.

[5] 陈先茂,章发根,邓国强,等. 红黄壤土壤结构改良剂应用效果研究[J]. 江西农业学报,2013,25(12):86-88.

[6] BALL B C,BINGHAM I,REES R M. The role of crop rotations in determining soil structure and crop growth conditions[J]. Canadian Journal of Soil Science,2005,85(5):557-577.

[7] 范钦珊,殷雅俊. 材料力学[M]. 北京:高等教育出版社,2008.

[8] 李敏,柴寿喜,王晓燕,等. 以强度增长率评价麦秸秆加筋盐渍土的加筋效果[J]. 岩土力学,2011,32(4):1051-1056.

[9] 李小刚,崔志军,王玲英,等. 盐化和有机质对土壤结构稳定性及阿特伯格极限的影响[J]. 土壤学报,2002,39(4):550-559.

[10] 李江涛,钟晓兰,张斌,等. 长期施用畜禽粪便对土壤孔隙结构特征的影响[J]. 水土保持学报,2010,24(6):137-140,180.

[11] 何春梅,钟少杰,李清华,等. 种植翻压紫云英对耕层土壤结构性能及有机碳含量的影响[J]. 江西农业学报,2014,26(12):32-34.

[12] SHEPHERD M A,HARRISON R,WEBB J. Managing soil organic matter-implications for soil structure on organic farms[J]. Soil Use and Management,2002,18:284-292.

(上接第 86 页)

田间目测选择应以抗病为前提、抗倒为基础、高产或高产兼优质为目标对育种材料进行选择,淘汰明显不良的后代,集中对优良株行、株系、品系进行目测评分并进行田间测产和室内考种。

参考文献

[1] 杨伯玉. 大豆杂交育种亲本选配及杂种后代主要性状的定向选择[J]. 辽宁农业科学,1999(1):24-28.

[2] 郭长霞,李俊献,李建华,等. 河南大豆主要数量性状与产量的相关和通径分析[J]. 大豆科技,2013(1):26-28,35.

[3] 郭昌贤. 夏大豆高产育种的农艺性状选择[J]. 大豆科技,2015(2):18-

22.

[4] 刘玉红,韩世峰,郭泰. 大豆亲本组合方式与主要世代选择效果的分析[J]. 大豆科技,2010(6):7-9.

[5] 张琪. 改进选联表法在大豆育种上的应用研究[J]. 大豆科学,2014,33(6):23.

[6] 祝其昌,张秋荣,顾和平. 大豆杂交后代选择法效果比较的研究[J]. 大豆科学,1995,14(1):47-52.

[7] 田佩点. 大豆杂交组合鉴定研究—Ⅲ、大豆早期世代表现与高世代选择效果的关系[J]. 大豆科学,1985,4(1):29-38.

[8] 武天龙,杨庆凯,孟庆喜. 大豆杂交后代田间目测选评选择效果的分析研究[J]. 东北农学院学报,1989,20(3):221-225.

[9] 孙守红,孟庆喜. 大豆高产育种杂交后代目测选择效果的研究[J]. 大豆科学,1991,10(1):17-22.