

崩岗红土层土壤液塑限特性及影响因素研究

庄雅婷, 黄炎和, 林金石, 蒋芳市, 郑 艺, 孙绍希, 丁子琪, 杨 宇

(福建农林大学, 福州 350002)

摘 要:土壤液塑限可以反映土壤的入渗、抗冲、抗蚀和抗剪等情况,对崩岗的水土流失研究有重要的意义。通过对崩岗红土层土壤的液塑限研究以及颗粒分析和有机质测定,分析土壤有机质含量和土壤颗粒分布对土壤液塑限的影响。结果表明:崩岗红土层土壤为高液限黏土,土壤状态为坚硬;土壤液塑限值与粗砂粒、细砂粒和粉粒含量相关性不明显,与极细砂粒和黏粒含量呈二项式关系,其中极细砂粒含量与土壤液塑限呈负相关;黏粒含量与土壤液塑限均呈显著正相关关系,且模拟的方程可以较准确地描述土壤液塑限和各因素的相关关系。研究结果有利于丰富崩岗侵蚀机理的研究。

关键词:崩岗; 液塑限; 土壤颗粒; 有机质

中图分类号:S152.3

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)03-0208-04

Study on Liquid Limit and Plastic Limit Characteristics and Factors of Benggang in Red Soil Layer

ZHUANG Ya-ting, HUANG Yan-he, LIN Jin-shi,

JIANG Fang-shi, ZHENG Yi, SUN Shao-xi, DING Zi-qi, YANG Yu

(Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Liquid limit and plastic limit of soil reflect soil infiltration, erosion, corrosion and shear, etc, which has the important significance on the research of soil erosion of Benggang. In this study, liquid limit and plastic limit, soil particles and soil organic matter in red soil layer were surveyed and evaluated in order to analyze the influences of soil organic matter content and soil particle size distribution on the soil liquid limit and plastic limit. The results showed that the soil in red soil layer of Benggang is the clay soil with high liquid limit, soil status is hard; liquid limit and plastic limit did not have an obvious correlation with coarse, fine sand and silt contents, and they showed a binomial relationship with extreme fine sand. Among them, extreme fine sand content was negative correlation with liquid limit and plastic limit; clay content was significant positive correlation with liquid limit and plastic limit. The simulation equation can accurately describe the relationship between liquid limit and plastic limit and various factors. These study findings will enrich the research of erosion mechanism of Benggang.

Key words: Benggang; liquid limit and plastic limit; soil particles; soil organic matter

崩岗是我国南方特有的侵蚀现象,侵蚀危害十分严重^[1-3]。水分在崩岗侵蚀的发生过程中扮演着重要角色,它对崩岗土壤入渗能力、抗冲性、抗蚀性以及抗剪能力等都有影响,土壤塑限和液限分别是土壤处于塑性状态时的最低含水量和最高含水量,它可以表征土壤能达到的最高含水量,对于预测降雨对崩岗侵蚀

的影响具有重要作用,因此对崩岗土壤的液塑限进行相关研究,对于阐述土壤液塑限与崩岗侵蚀之间的关系具有重要意义。

关于土壤塑限和液限的研究目前主要集中在岩土力学、建筑工程和路桥等工程上的应用以及施工技术研究,也有少量学者对土壤塑限和液限的影响因素

进行研究,且大多集中在黏粒含量和有机质含量两个因素上。如吴宏等^[4]对砂质粉土、黏质粉土、粉质黏土等不同分类土壤进行研究,结果表明黏粒含量越高,塑性指数越大;花可等^[5]对紫色土和水稻土这两种耕作土壤的研究表明土壤液限值随有机质和黏粒含量的增加而变大;刘艳华^[6]对有机质土的液塑限进行研究,得到有机质土区的液塑限关系公式;李卓等^[7]对土壤中黏粒质量分数对水分蓄持能力影响的研究表明,黏粒含量有助于土壤保持水分,从而提高土壤液限值。在这些研究中,大家只关注了黏粒和有机质两个因素,忽略了其他土壤颗粒组成对土壤液塑限的作用,且关于崩岗土体的液塑限性质还未有相关报道。南方崩岗数量多,而红土层为崩岗表层土壤,对整个崩岗具有保护作用,一旦红土层被侵蚀,将会加快整个崩岗的水土流失,因此对红土层土壤的塑限和液限性质进行研究,对于阐明红土层土壤液塑限性质对整个崩岗侵蚀的影响具有重要作用。本研究对崩岗红土层土壤进行液塑限分析,并对有机质和不同粒径土壤含量对土壤液塑限的影响进行研究,丰富崩岗侵蚀预防和治理的科学依据。

表 1 样品采集点基本情况和采样点个数

崩岗	指标	有机质/ %	土壤机械组成/%					采样点 个数
			粗砂粒	细砂粒	极细砂粒	粉粒	黏粒	
A	最大值	0.68	19.9	8.2	20.4	65.0	13.6	5
	最小值	0.32	12.5	1.6	8.7	46.9	8.5	
	平均值	0.55	14.4	3.9	13.0	56.8	12.0	
B	最大值	0.39	19.6	9.5	22.3	63.2	10.2	3
	最小值	0.26	11.5	2.8	12.4	42.9	5.8	
	平均值	0.31	15.2	6.6	18.3	51.9	8.0	
C	最大值	0.27	14.4	5.2	17.6	61.3	7.5	3
	最小值	0.23	11.6	4.0	15.7	56.4	6.4	
	平均值	0.25	12.7	4.6	16.4	59.6	6.7	

1.3 测定方法

试验土壤过 0.5 mm 筛后采用液、塑限联合测定方法对土壤塑限和液限值进行测定。试验时取代表性试样,加不同量的纯水,调成 3 种不同稠度的试样,用电磁落锥法分别测定圆锥在自重下沉入试样 5 s 时的下沉深度,三点圆锥的入土深度大概分别在 3~4 mm,7~9 mm,15~17 mm。试验方法标准按照沉入深度 17 mm 所对应的含水量为 17 mm 液限,沉入 2 mm 所对应的含水量为塑限。另外土壤颗粒分析采用粒度仪进行分析,有机质采用重铬酸钾外加热法进行测定。各项目测定均进行三次重复试验。

1.4 指标选择与计算

塑性指数: $I_P=\omega_L-\omega_P$ (1)

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于福建省安溪县龙门镇,属于中、南亚热带气候区,年平均气温 16~22℃,年平均降水量 1 600~2 000 mm。安溪县位于福建省东南部,东经 117°35'—118°17',北纬 24°50'—25°26'。安溪县崩岗面积占全省崩岗总面积的 35.99%,达 2 305.43 hm²,崩岗数量也最高,达 12 828 个,占全省崩岗总数的 49.28%,接近全省崩岗总数的一半。而龙门镇又是安溪县崩岗集中的区域,其崩岗具有典型性^[3]。研究区崩岗区土体发育于晚侏罗世、早白垩世燕山晚期的侵入体之上,且都是酸性侵入体,属花岗岩类,岩石结构为中—粗粒,似斑状架构,矿物成分以长石为主,其次为石英、云母。

1.2 样品采集

本研究选取 3 个崩岗红土层进行研究,在崩岗红土层上,按 30 cm 为一层进行取样,具体采集点情况和采样点个数见表 1。采样时自下而上分层采取,以避免采取上层样品时对下层土壤的混杂污染。

液性指数: $I_L=\frac{\omega-\omega_P}{I_P}$ (2)

式中: I_P ——塑性指数; ω_L ——液限(%); ω_P ——塑限(%); ω ——天然含水率(%); I_L ——液性指数。

1.5 数据处理及分析

数据处理采用 Excel 2003 和 SPSS 18.0 进行分析。

2 结果与分析

2.1 崩岗红土层土壤液塑限特征

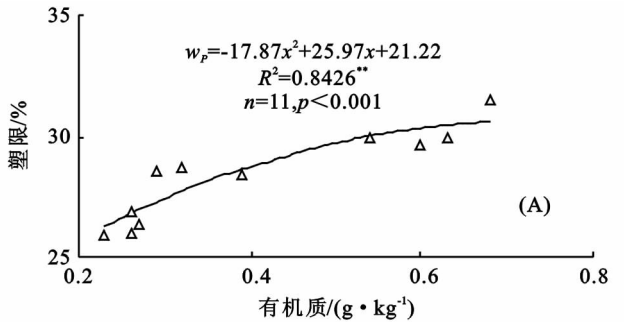
对崩岗红土层的土壤进行塑限和液限测定,结果见表 2。由表 2 可以看出,3 个崩岗中,红土层土壤的塑限(ω_p)值平均最低为 26.1%,最高为 30.0%;液限

(w_L)值平均最低为 52.5%，最高为 59.7%；塑性指数(I_p)平均最小为 26.0%，最大为 29.8%；液性指数(w_L)均小于 0。这与花可可等^[5]研究中紫色土和水稻土的液塑限性质有一定的差异，崩岗红土层土壤的塑限值和液限值都比紫色土和水稻土高，说明崩岗红土层土壤在小雨和中雨条件下较这两种土壤不容易发生流失。

表 2 崩岗红土层土壤液塑限性质

崩岗	塑限/%	液限/%	塑指/%	液指/%
A	30.0±1.0	59.7±2.6	29.8±1.8	-40.2±2.4
B	27.9±0.9	54.0±1.1	26.0±0.2	-38.2±3.5
C	26.1±0.2	52.5±1.7	26.4±1.8	-30.6±2.8

由上面分析可知塑性指数(I_p)均大于 17%，且土壤液限(w_L)均大于 50%，属于高液限黏土；因此，在小雨和中雨条件下，若降雨持续时间较短，崩岗红土层土壤不容易达到塑限值，红土层不容易出现土壤流失和崩塌现象，但是如果降雨持续的时间足够长，红土层土壤的含水量就会达到一个较高水平，此时土壤自重增加明显，土壤抗剪性下降，就可能出现崩塌现象。而土壤液性指数与土壤的自然含水量呈正比关系，它可以较好地反映出土壤中水分的变化情况^[8]。



从上面的分析还可以看出，土壤液性指数(I_L)均小于 0，说明试验土壤状态为坚硬，说明土壤渗透能力差，且不利于植被生长。因此，在大暴雨条件下，由于红土层土壤没有足够的植被覆盖，遮挡能力差，且降雨过程中水分不易下渗，从而容易产生径流，导致径流冲刷。

2.2 土壤液塑限与各因素相关性分析

2.2.1 有机质对土壤液塑限的影响 有机质的含量对土壤的液塑限有很大的影响，有机质含量过高会引起土的高塑性^[6]。从图 1 可以看出，土壤有机质含量与土壤液限和塑限值呈二项式函数关系，且相关性都达到显著水平。这可能是因为土壤有机质含量高低会影响土壤颗粒的比表面积和持水率，从而影响土壤的液限性质。随着有机质含量的增高，有机胶体也增多，土壤的持水率越大，液限值也升高^[9]。试验土壤为崩岗红土层土壤，有机质含量较低，均低于 1%，这与 Abdallah 等^[10]的研究(当土壤有机质的含量低于 10%时，土壤的液限值与有机质之间具有明显的正相关性)结果一致。说明土壤有机质含量越高，土壤液塑限值越高，土壤越不容易达到泥状，即土壤越不容易被冲刷，越不易造成水土流失。

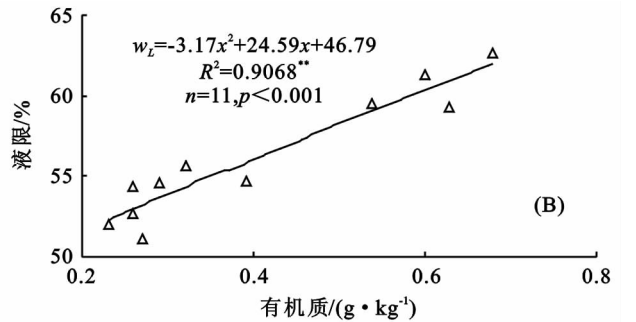


图 1 有机质对土壤塑限和液限的影响

2.2.2 土壤颗粒对土壤液塑限的影响 土壤颗粒组成状况是影响土壤抗蚀性的重要因素。颗粒组成越细的土壤，粘结力越强，在一定程度上使土壤形成团状结构体，其抗打击的能力也越高^[11-12]。经分析，土壤液塑限值与粗砂粒、细砂粒和粉粒含量相关性不明显，与极细砂粒和黏粒含量呈二项式关系，其中极细砂粒含量与土壤液塑限呈负相关；黏粒含量与土壤液塑限均呈显著正相关关系，具体见图 2。这可能是因为砂粒孔隙大，粘结性小，因此这部分颗粒含量增加，必然会影响到土壤孔隙状况和比表面积大小，使土壤孔隙率增大，比表面积减小，从而利于水分通过，蓄水性质较差，而且其粘性小，遇水膨胀性也小，干燥时松散，毛细水上升高度不大，因此这部分含量增加，会使土壤液塑限值降低，从而增加土壤被冲刷和侵蚀的可能性，但是极细砂粒在总的砂粒含量中比重较大，因

此对土壤液塑限的影响较显著；而粉粒虽然在土壤颗粒中分布最多，但是各土壤间差异不明显，因此就可能对土壤液塑限性质表现出不明显的相关关系。

此外由以上分析可知，土壤黏粒含量与土壤液塑限值呈显著正相关，说明其含量增加可以使土壤液限和塑限值提高。这可能是因为黏粒含量可以有效地改变土壤颗粒和水分的分布状况，黏粒能够通过影响土壤颗粒排列形式来影响土壤的可塑性^[13-14]。黏粒含量不同，土壤颗粒间的连接形式、排列方式及孔隙大小均会发生较大变化^[15]。其次，土壤黏粒是土粒中最细的部分，具有极大的比表面积大小，土壤中黏粒含量的多少势必影响整个土壤的孔隙状况及比表面积，进而影响土壤的蓄水能力^[6]。所以黏粒巨大的比表面积使其具有很强的吸附能力，从而影响土壤中的水流速度，细小黏粒对较大孔隙的镶嵌填充也对土壤中的水

流通道有阻挡作用,从而影响土壤的液限性质。黏粒含量较高时,粗颗粒较均匀地分布在黏粒基质中,土

粒间被黏粒充填,粗颗粒被隔开,并有利于颗粒的定向排列,弱结合水含量升高,从而增加土壤的液限^[8]。

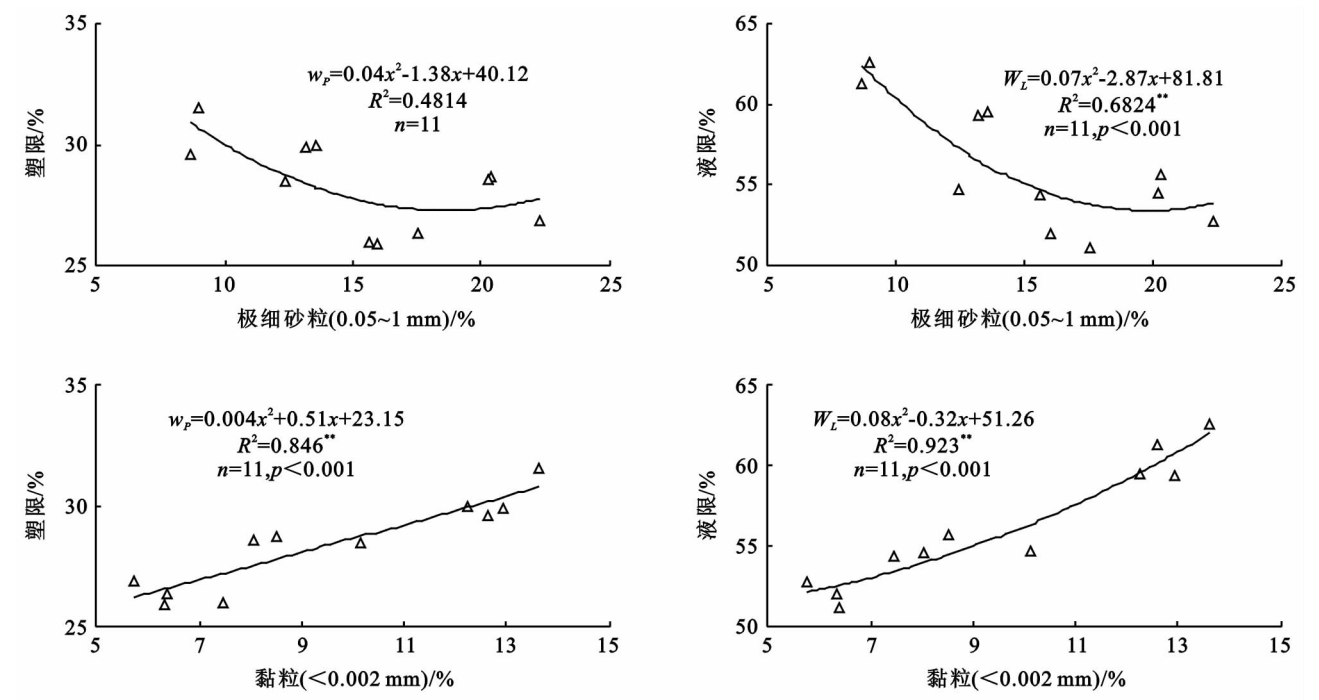


图 2 土壤颗粒对土壤液限和塑限的影响

2.2.3 土壤液塑限与各影响因素方程拟合 为了了解各因素对土壤液塑限的影响,利用 SPSS 对数据进行多元回归分析,结果见表 3。

由表 3 可以看出,在各因素一起作用于土壤液塑限条件下,粉粒对土壤液塑限没有明显影响,其余 5 个因素对土壤液塑限值均有影响。这可能是因为:虽然粉粒在土壤颗粒中的比重大,均在一半左右,但是

粉粒的特征不明显,且每个样点间土壤粉粒含量差异性不大,因此在总体的影响分析中,粉粒的作用就可能不明显,而其他因素对土壤液塑限均有明显的影响。另外,从表 3 可以看出,模拟的两个方程的相关系数 R^2 分别为 0.946 和 0.909,说明拟合的方程可以较准确地描述土壤塑限和液限值与各因素之间的相关关系。

表 3 土壤液塑限和各影响因素拟合关系

项目	方程表达式	相关系数
土壤塑限	$Y=0.742X_1+0.590X_2-0.097X_3+0.667X_4-0.169X_5+21.902$	$R^2=0.946^{**}$
土壤液限	$Y=0.884X_1+2.977X_2-0.054X_3+1.450X_4-0.876X_5+53.870$	$R^2=0.909^{**}$

注: X_1 为黏粒含量; X_2 为有机质含量; X_3 为粗砂粒含量; X_4 为细砂粒含量; X_5 为极细砂粒含量。

3 结论

从以上结果分析可知,崩岗红土层土壤为高液限黏土,土壤状态为坚硬。土壤有机质含量以及土壤颗粒组成对土壤液塑限有明显影响,具体为:有机质含量、黏粒含量和粉粒含量与土壤液塑限值为正相关,粗砂粒含量、细砂粒和极细砂粒含量对土壤液塑限值为负相关。土壤液塑限与各影响因素的关系符合 SPSS 模拟的方程,方程 R^2 分别为 0.946 和 0.909,说明模拟的方程可以较准确地预测土壤塑限和液限值与各影响因素的关系。土壤有机质和颗粒分布对土壤液塑限的相关性确定能够为崩岗其他特征的确定提供一些依据,但是对于崩岗崩壁剖面土壤液塑限与其他物理性质,如抗剪强度、渗透等的具体关系还有

待进一步研究。

参考文献:

[1] 牛德奎. 华南红壤丘陵区崩岗发育的环境背景与侵蚀机理研究[D]. 南京:南京林业大学,2009.

[2] 梁音,宁堆虎,潘贤章,等. 南方红壤区崩岗侵蚀的特点与治理[J]. 中国水土保持,2009,29(1):31-34.

[3] 林敬兰,黄炎和. 崩岗侵蚀的成因机理研究 with 问题[J]. 水土保持研究,2010,17(2):1-4.

[4] 吴宏,刘银宝. 土的分类中塑性指数与黏粒含量的关系[J]. 中国市政工程,2008(1):62-67.

[5] 花可可,魏朝富,任镇江. 土壤液限和抗剪强度特征值及其影响因素研究:基于紫色土区[J]. 农机化研究,2011,33(6):105-109.

- Change 1995: The Science of Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- [2] 伍光和, 上田丰, 仇家琪. 天山博格达山脉的自然地理特征及冰川发育的气候条件[J]. 冰川冻土, 1983, 5(3): 1-13.
- [3] 王叶堂, 侯书贵, 鲁安新. 近40年来天山东段冰川变化及其对气候的响应[J]. 干旱区地理, 2008, 31(6): 813-818.
- [4] 刘艳, 张璞. 基于遥感的径流丰枯与高山区积雪关系分析: 以天山玛纳斯河流域为例[J]. 水土保持研究, 2010, 17(3): 44-48.
- [5] 刘潮海, 谢自楚. 天山冰川作用[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [6] 中国科学院新疆综合考察队, 中国科学院地理研究所. 新疆地貌[M]. 北京: 科学出版社, 1978.
- [7] 刘占静. 2003年玛纳斯河汛期水情特征及其成因[J]. 水土保持研究, 2004, 11(4): 198-199.
- [8] 南峰, 李有利, 史兴民. 新疆玛纳斯河水量波动与气候变化之间的关系[J]. 水土保持研究, 2003, 10(3): 59-61.
- [9] Andreassen L M, Paul F, Kääb A, et al. The new Landsat-derived glacier inventory for Jotunheimen, Norway, and deduced glacier changes since the 1930s[J]. The Cryosphere, 2008, 2(2): 131-145.
- [10] Bolch T, Menounos B, Wheate R. Landsat-based inventory of glaciers in western Canada, 1985-2005[J]. Remote Sensing of Environment, 2010, 114(1): 127-137.
- [11] 王银生, 仇家琪. 天山博格达峰地区现代冰川分布特征[J]. 冰川冻土, 1983, 5(3): 17-23.
- [12] 胡汝骥. 天山东部喀尔里克山峰区的冰川作用[J]. 干旱区地理, 1979: 69-82.
- [13] 仇家琪, 邓养鑫. 天山博格达峰地区的雪崩[J]. 冰川冻土, 1983, 5(3): 227-234.
- [14] 赵俊荣, 晋绿生, 彭擎宇, 等. 准葛尔盆地南缘沙尘暴大风气候特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(3): 104-106.
- [15] 陈永川, 范泽, 曹艳, 等. 吐鲁番盆地最高最低气温的气候变化特征[J]. 农技服务, 2010, 27(10): 1307-1308.
- [16] 姜珊, 杨太保, 王秀娜, 等. 1973年布喀塔格峰冰川波动对气候变化的响应[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(3): 47-52.
- [17] 钱亦兵, 吴世新, 吴兆宁, 等. 喀尔里克山冰川资源近50a来的变化及保护对策[J]. 干旱区地理, 2011, 34(5): 719-725.
- [18] 韩雪云, 杨青, 姚俊强. 新疆天山山区近51年来降水变化特征[J]. 水土保持研究, 2013, 20(2): 139-144.
- [19] 中国科学院兰州冰川冻土研究所, 中国冰川概论[M]. 北京: 科学出版社, 1988: 238-242.
- [20] IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Geneva, Switzerland, 2007.
- [21] 肖銖. 试论大气中的水汽与我国现代高山冰川分布的关系[J]. 冰川冻土, 1981, 3(1): 1-13.
- [22] Oerlemans J. Extracting a climate signal from 169 glacier records[J]. Science, 2005, 308(5722): 675-677.
- [23] Raper S C B, Brown O, Braithwaite R J. A geometric glacier model for sea level change calculations[J]. Journal of Glaciology, 2000, 46(145): 357-368.
- [24] 田洪阵, 杨太保, 刘沁萍. 近40年来冷龙岭地区冰川退缩和气候变化的关系[J]. 水土保持研究, 2012, 19(5): 34-38.
- [25] 张华伟, 鲁安新, 王丽红, 等. 祁连山疏勒南山地区冰川变化的遥感研究[J]. 冰川冻土, 2011, 33(1): 8-13.
- [26] 李治国, 姚檀栋, 叶庆华, 等. 1980—2007年喜马拉雅东段洛扎地区冰川变化遥感监测[J]. 地理研究, 2011, 30(5): 939-952.
- [27] 何毅, 杨太保, 田洪阵, 等. 近23年来北天山冰川面积变化对气候的响应[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(3): 53-60.

(上接第211页)

- [6] 刘艳华. 区域土的液限和塑限的相关性分析[J]. 长江科学院院报, 2001, 18(1): 28-30.
- [7] 李卓, 吴普特, 冯浩, 等. 黏粒质量分数对土壤水分蓄持能力影响的模拟试验[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(5): 94-99.
- [8] 蒋建平, 罗国煜. 苏通大桥地基粉质黏土物性指标相关关系试验研究[J]. 岩土力学, 2008, 29(6): 1670-1676.
- [9] 艾海舰. 土壤持水性及孔性的影响因素浅析[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(3): 75-77.
- [10] Husein Malkawi A I, Alawneh A S, Abu-Safaqah O T. Effects of organic matter on the physical and the physicochemical properties of an illitic soil[J]. Applied Clay Science, 1999, 14(5): 257-278.
- [11] 郑粉莉, 唐克丽, 周佩华. 坡耕地细沟侵蚀影响因素的研究[J]. 土壤学报, 1989, 26(2): 109-116.
- [12] 赵西宁, 吴普特, 冯浩, 等. 坡面土壤侵蚀产沙的神经网络模拟[J]. 土壤学报, 2006, 43(2): 324-327.
- [13] 曹成林, 孙永福, 董斌. 不同粘粒含量粉质土的动力强度特性研究[J]. 海岸工程, 2009, 28(3): 27-32.
- [14] 胡华. 黏粒含量对淤泥质软土流变参数的影响及其机理分析[J]. 岩土工程界, 2005, 8(11): 32-35.
- [15] 陈铁林, 周成, 沈珠江. 粘土变形特性分析[J]. 岩土力学, 2004, 25(4): 522-528.