

文章编号: 1008-2786-(2016)5-513-07

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000157

植被发育玄武岩斜坡土体基质吸力及其影响因素

张磊^{1,2}, 徐则民^{3*}, 侯汝几³, 任帮政¹

(1. 昆明理工大学国土资源工程学院, 云南 昆明 650093; 2. 甘肃工业职业技术学院地质学院, 甘肃 天水 741025;

3. 昆明理工大学建筑工程学院, 云南 昆明 650500)

摘 要: 植被发育斜坡非饱和带垂直深度 < 50 cm 范围内根系密布, 与根系相关的大孔隙很大程度上降低了土体密实程度, 而垂直深度 > 50 cm 范围内根系稀疏, 土体较密实, 孔隙比较小。基质吸力受土体孔隙分布影响显著。对昆明呈贡县某植被发育玄武岩斜坡垂直深度 10 ~ 20 cm 和 60 ~ 80 cm 处取原状样(编号为 XA 和 XB)进行了基质吸力测试, 结果表明相同含水率下基质吸力 XA 小于 XB。对头寨沟滑坡左翼某植被发育玄武岩斜坡垂直深度 10 ~ 20 cm 和 60 ~ 80 cm 处取原状样(编号为 TA 和 TB)也进行了基质吸力测试, 结果表明相同含水率下基质吸力 TA > TB。对研究区土体有机质含量测试发现, TA、TB 分别为 14.89%、3.28%, 而 XA、XB 分别为 1.05%、0.39%。土壤有机质自身结构疏松多孔, 并且会增大土壤比表面积和毛管孔隙度, 改善颗粒级配和土体结构, 使土壤吸附作用增强, 利于土壤水分的保持, 进而影响到土体土-水特征曲线。

关键词: 植被发育斜坡; 基质吸力; 有机质; 大孔隙; 优先流; 滑坡

中图分类号: P642.1

文献标志码: A

非饱和土基质吸力受到很多因素的影响, 如土体类型、土体结构、颗粒级配、孔隙结构、密实程度、矿物成分、微生物、应力历史和土体所处的应力状态等。针对不同影响因素, 国内外学者做了大量的研究, 并相应建立了各种不同的土-水特征曲线模型。Vanapalli 等^[1]研究了砂质粘性冰碛土在不同竖向压力、不同初始含水量下的土-水特征曲线; Kawai 等^[2]对非膨胀的非饱和土进行了研究, 考虑了固结压力和不同初始含水量对土-水特征曲线的影响; Charles^[3]研究了应力历史对试样土-水特征曲线的影响; 薛绪掌^[4]等研究了土壤微生物活性与土壤基质吸力的关系。

斜坡非饱和带土体基质吸力对土体工程地质性质影响显著, 与边坡稳定性关系密切。前人的很多研究是针对基质吸力影响因素中特定的某种或几

种, 而自然状态下植被发育斜坡非饱和带土体基质吸力受多种因素综合作用。为此, 在云南昆明呈贡县段家营和昭通头寨沟左翼两个试验点的植被发育玄武岩斜坡不同深度处取原状土样, 采用“滤纸法”测定了其土-水特征曲线, 并对比分析了两地基质吸力的主要影响因素。

1 研究区概况

昆明呈贡县试验区地处普渡河流域, 属于滇中红色高原地貌; 头寨沟试验区地处横江流域, 属于滇东北中山山原地貌。

呈贡区地处扬子地台西部之康滇地轴南段东缘, 与滇黔台坳毗邻。试验区下伏基岩主要为二叠系峨眉山玄武岩($P_2\beta$), 土层厚度在 50 ~ 100 cm 之

收稿日期(Received date): 2015-11-28; 改回日期(Accepted): 2015-12-07。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金-云南联合基金重点项目(U1033601); 高等学校博士学科点专项科研基金(20135314110005); NSFC-云南联合基金重点项目(U1502232)。[National Natural Science Foundation of China-Yunnan Joint Fund(U1033601); Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education of China(20135314110005); NSFC-Yunnan Joint Fund(U1502232).]

作者简介(Biography): 张磊(1987-), 男, 陕西宝鸡人, 硕士研究生, 主要从事水文地质与工程地质方面研究。[Zhang Lei(1987-), male, graduate candidate, major in hydrogeology and engineering geology.] E-mail: zlb5201@126.com

* 通信作者(Corresponding author): 徐则民(1963-), 教授, 博士生导师。[Xu Zemin(1963-), male, Ph.D. professor.] E-mail: abc5100@188.com

间变化,往下为峨眉山玄武岩腐岩,再往下为不同风化程度的玄武岩基岩。试验区及其近场范围上二叠统仅发育有峨眉山玄武岩组(P_2e),其层位稳定,可划分为下部火山碎屑岩段(P_2e^1)和上部熔岩段(P_2e^2)两段。

头寨沟地处扬子准地台-滇东北台褶带-滇东北台褶曲-镇雄拗褶带,实验区地质构造简单,主要以向斜为主。试验区下伏基岩为二叠系峨眉山玄武岩($P_2\beta$),土层厚度在50~100 cm之间变化。该区地下水发育,属玄武岩风化裂隙水,受大气降水和融雪补给,常年有地下水出露。

呈贡试验区植被覆盖度在90%以上,调查发现24种植物:云南松(*Pinus yunnanensis*)、华山松(*Pinus armandii*)、云南油杉(*Keteleeria evelyniana*)、圆柏(*Sabina chinensis*)、狗牙根(*Cynodon dactylon*)等。头寨沟试验区植被覆盖度在95%以上,调查发现31种植物:滇蜡瓣花(*Corylopsis yunnanensis*)、大白花杜鹃(*Rhododendron decorum* Fr)、滇青冈(*Cyclobalanopsis glaucooides*)等。

2 基质吸力测试

土样取自昆明呈贡县段家营和头寨滑坡左翼某植被发育玄武岩斜坡坡面向下垂直深度为10~20 cm(呈贡土样编号为XA,头寨为TA)和60~80 cm(呈贡土样编号为XB,头寨为TB)处,试样物理性质指标及颗粒组成见表1。

采用“滤纸法”^[5](Gardner)测定土样基质吸力。选用杭州新华造纸厂的“双圈”牌No. 203型滤纸,其主要技术指标如下:直径为70 mm、灰分为0.000 035 g/张、占质量百分比0.01%、滤速为慢速。其率定方程^[6]为:

$$\lg(h_m) = 5.493 - 0.076\omega_f, \omega_f \leq 47\% \quad (1)$$

$$\lg(h_m) = 2.470 - 0.012\omega_f, \omega_f > 47\% \quad (2)$$

式中 h_m 为吸力(kPa) ω_f 为滤纸的含水率(%)。

土样的直径为6.18 cm,高为2 cm,将其上下表面削平整后进行试验,具体地:1. 对土样分别用65度烘干、自然风干、自封袋保湿、真空饱和等方法将其含水率从低到高加以控制;2. 取同湿度的两个土样,将测试滤纸(滤纸分3层:中间层直径为5 cm,用于测试基质吸力,上下层直径为6 cm,防止中间层滤纸受到土体污染)^[7]夹在中间,用绝缘胶带黏贴接缝处;3. 将试样放入密封罐,然后封闭密封罐(封口处涂抹些许凡士林);4. 将密封罐放入恒温装置中静置7~10 d(平衡7~10 d后滤纸的含水率基本稳定^[5-9])。

平衡7~10 d后,分别测试滤纸和土样的平衡后含水率。为了减少滤纸与周围大气接触而发生水分变化,滤纸称量尽量在30 s内完成。得到滤纸的平衡含水率后,利用滤纸的率定方程求得基质吸力。

3 结果与分析

3.1 试验结果

呈贡试验点不同深度处的土-水特征曲线如图1。图1显示,当质量含水率5%~30%,XA的基质吸力比同含水率下XB的基质吸力小。

头寨试验点不同深度处的土-水特征曲线如图2。图2显示,当质量含水率50%~150%,TA的基质吸力比同含水率下TB的基质吸力大。

图2曲线明显不如图1曲线光滑,这主要由于头寨土样均质性较差,故有必要对其土-水特征曲线进行拟合。随着土-水特征曲线的研究,很多土-水特征曲线模型被提出,其中Fredlund、Van Genuchten、包承纲等提出的模型被广泛应用。分析了前人的研究成果,文献[10]指出基质吸力的幂函数多项式形式的数学模型是非饱和土土-水特征曲线的通用数学模型表达式,欲提高精度,只须增加多项式的项数既可。

使用matlab对TA、TB试样质量含水率与基质

表1 试样物理性质

Tab. 1 Physical properties of test samples

试样编号	深度 /cm	天然含水率 /%	土粒比重 G_s	干密度 /(g/cm ³)	液限 ω_l /%	塑限 ω_p /%	颗粒组成/%		
							>0.5 mm	0.5~0.075 mm	<0.075 mm
XA	10~20	24.7	2.73	1.006	50.5	34.4	70.283	14.284	15.433
XB	60~80	33.6	2.85	1.154	64.9	36.6	47.901	10.984	41.115
TA	10~20	168.7	2.11	0.38	75.6	58.5	37.536	19.092	43.372
TB	60~80	117.7	2.48	0.55	60.9	49.9	37.345	8.795	53.860

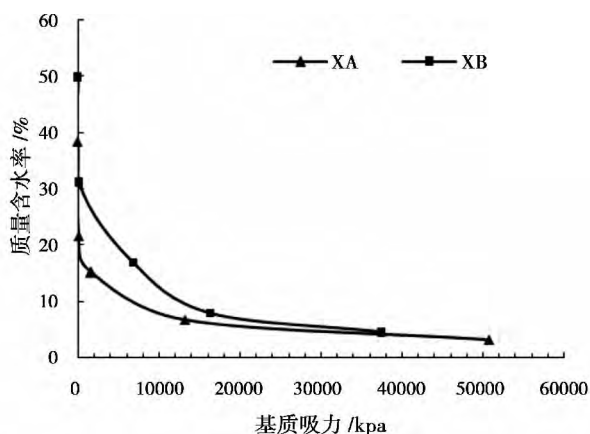


图1 呈贡试验区土体基质吸力与含水率的关系曲线

Fig. 1 Curves of watercontent with matric suction at Chenggong test area

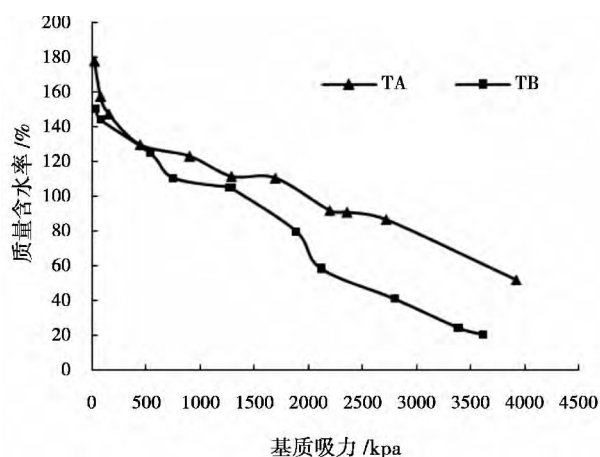


图2 头寨试验区土体基质吸力与含水率的关系曲线

Fig. 2 Curves of watercontent with matric suction at Touzhai test area

吸力关系用幂函数多项式拟合如下:

$$TA: \omega = 2.668e^{-006\psi^2} - 0.0368\psi + 160$$

适用条件: $50 \leq \omega(\%) \leq 160$

R-square: 0.9404

$$TB: \omega = 1.16e^{-009\psi^3} - 4.67e^{-006\psi^2} -$$

$$0.034\psi + 147.3$$

适用条件: $20 \leq \omega(\%) \leq 150$

R-square: 0.9873

式中 ψ 为基质吸力(kPa); ω 为质量含水率(%), 拟合曲线见图3。TB拟合曲线多项式项数多于TA, 相关系数高于TA。

3.2 孔隙分布与基质吸力

土体孔隙分布特征与土水特性关系密切, 不少研究人员从土体微观结构变化角度研究变形对土水特征的影响^[11-14]。

本质上, 土体孔隙结构对土-水特征曲线起决

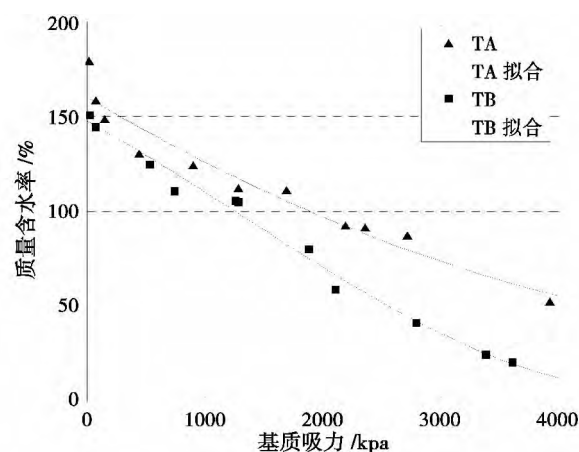


图3 头寨试验区土体基质吸力与含水率关系拟合曲线

Fig. 3 Curves fitting of watercontent with matric suction at Touzhai test area

定性作用^[15]。根据 Young-Laplace 方程, 孔隙半径 r 与基质吸力 h_m 存在如下关系:

$$h_m = C/r, \quad (3)$$

式中 $C = 2T_s \cos \alpha^*$, T_s 为水的表面张力, α^* 为接触角, r 为孔隙半径。由公式(3)可以看出土中的孔隙半径越小, 则基质吸力值就越大^[5, 16], 而土体的孔隙半径受到土体的颗粒成分影响^[17]。土体颗粒越小, 黏粒含量越多, 级配越好, 则孔隙半径就越小, 基质吸力就越高。

3.2.1 根系与大孔隙

在气候温湿的滑坡灾害易发区, 根系通道、动物通道、干裂缝及团聚体间的结构性孔隙等大空隙普遍存在于斜坡非饱和带中。大空隙系统可显著优化地下水的补给环境, 促进斜坡水循环, 引起岩体综合质量的渐进性衰退与滑坡^[18]。

实际上, 降雨诱发滑坡主要是水分通过斜坡大孔隙网络以快速优先流形式快速入渗引起的^[18], 降雨入渗边坡使得边坡非饱和带土体的基质吸力降低, 产生暂态饱和区。而基质吸力的降低, 使得边坡非饱和带土体的抗剪强度下降, 进而导致边坡稳定性降低, 甚至滑坡^[5, 16]。

文献[18]研究表明植被是控制大空隙形成、规模及寿命的决定性因素。除形成根系通道外, 细小根系及与植被相关的菌丝还可网捕土体颗粒形成团聚体, 而来自根系、枯枝落叶及真菌的腐殖化有机质不仅是重要的团聚体胶结物, 也是打洞的土体动物的食物来源, 土体中所有团聚体都可以找到植物的踪迹。为此, 我们对呈贡、头寨试验点植物根系密度做了测试, 结果如图4(X、T分别表示呈贡、头寨),

可以看出 XA、XB 和 TA、TB 根系密度差异很大,根系分布主要在垂直深度 <50 cm 范围内, >50 cm 范围内根系分布极其稀疏。室内土工试验测得 XA 和 XB 孔隙比分别为 1.71 和 1.47,TA 和 TB 孔隙比分别为 4.57 和 3.35。可见,根系密布范围很大程度疏松了土体,增大了土体孔隙比。

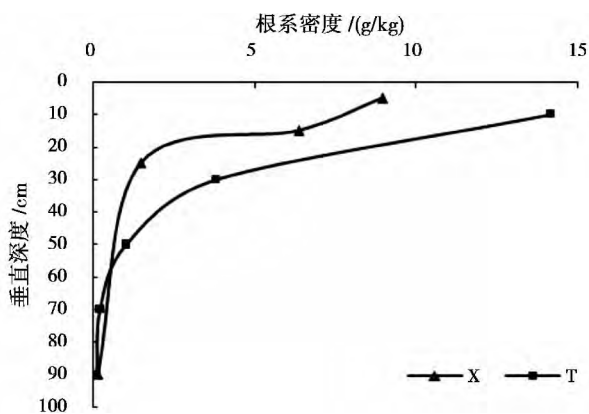


图 4 试验区根系密度与深度关系曲线

Fig. 4 Curves of root density and depth at test area

用 CT 扫描的方法测定了呈贡试验点附近大孔隙 ($>0.8\text{mm}^2$) 分布情况如图 5,对此结果用 Vol-view3.4 处理后再用 matlab 二值化处理,得到直观图像见图 6。从图 5、6 可以明显看出试验点土体孔隙分布规律与根系分布曲线成正相关关系。

对比 XA、XB 级配曲线(图 7),XB 黏粒含量高于 XA,级配良好。这一规律在呈贡试验点土-水特征曲线(图 1)上得到了很好的体现。

3.2.2 有机质与毛管孔隙

观察图 2,TA 的基质吸力比同含水率下 TB 基质吸力大。由图 4 看出两地根系密度分布规律大致

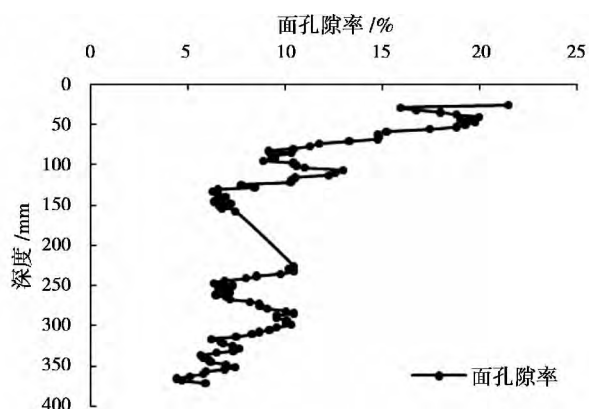


图 5 呈贡试验区土体面孔隙率与深度关系曲线

Fig. 5 Curves of surface porosity with depth at Chenggong test area

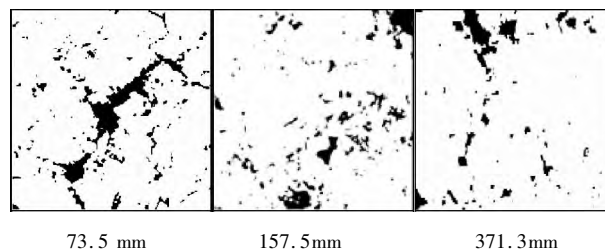


图 6 呈贡试验区土体 CT 扫描孔隙分布图

Fig. 6 The pore distribution by CT scan at Chenggong test area

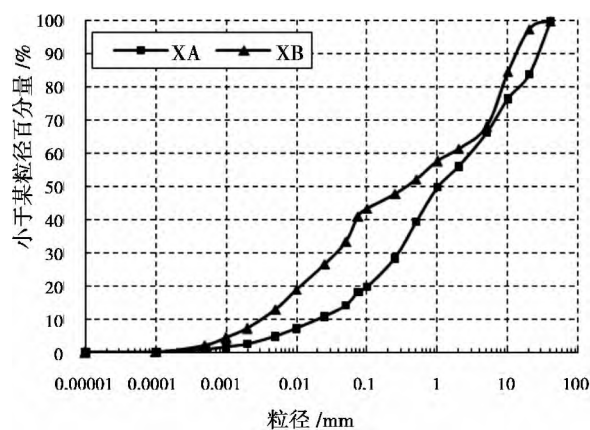


图 7 呈贡试验区颗粒级配曲线

Fig. 7 Particle size distribution (PSD) curves of chenggong test area

相同,因此与根系相关的大孔隙分布应该是一致的。为此,对两个试验点土样(呈贡 X,头寨 T)有机质含量做了测定,结果如图 8,可以看出头寨试验点有机质含量远高于呈贡试验点。

文献[19]指出,土壤有机质是形成土壤理化性状的基础,调节着土壤固、液、气三相的量和结构,影响着土壤生态功能的各个过程^[20-23]。土壤理化性状的差异决定着土壤持水、保水和土壤水分的有效

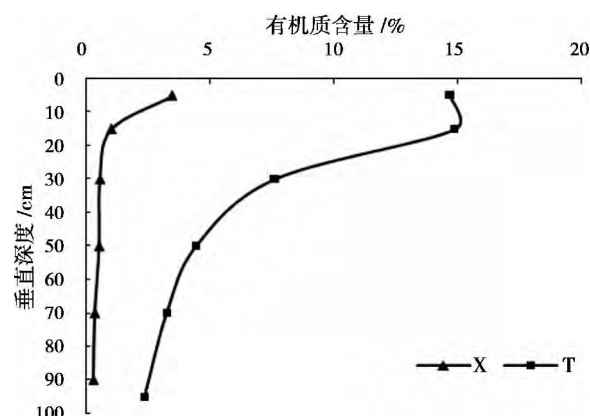


图 8 试验区有机质含量随深度变化曲线

Fig. 8 Curves of soil organic matter content with depth at test area

性^[24-25]。

土壤有机质除影响土壤的比表面积^[26]外,其自身结构疏松多孔^[27],是形成土壤最基本的结构单元——团聚体的重要物质^[28]。它们通过改善土壤结构、降低土壤容重和增加土壤毛管孔隙度等土壤物理特性对土壤的蓄水和持水性产生影响^[29]。土壤有机质含量的增加,不但可以改善土壤结构,增大了孔隙比,还能改变土壤的胶体状况,使土壤吸附作用增强。这两方面的作用都有利于土壤水分的保持,从而使土壤含水量增加^[30]。对比表 1 中呈贡和头寨试验点天然含水率,发现呈贡土体天然含水率远低于头寨土体。这除了与两地地质环境、气象条件差异有关外,头寨试验点土体持水性高是主要原因。

可见,有机质能很好的促使大、小孔隙的分布趋于合理,从而改良土体颗粒级配,改善土体结构。因此,有机质深刻影响着林下土体基质吸力,进而影响到其工程地质性质。对比 TA 和 TB 土体物理性质指标(表 2),孔隙比受有机质含量影响显著。

表 2 土样成分及物理性质

Tab. 2 Physical properties and ingredient of test sample

试样编号	深度/cm	天然密度/(g/cm ³)	孔隙比 e	有机质/%
TA	10~20	1.02	4.57	14.89
TB	60~80	1.19	3.53	3.28

土壤学中称基质吸力为 0 pa、 3.0×10^4 pa 和 1.5×10^6 pa 时的含水量分别为饱和含水量、田间持水量和萎蔫点含水量,有效水含量即是田间持水量与萎蔫点含水量的差^[31-32]。

TA 深度处土体有机质含量远高于 TB,因此,TA 持水性比 TB 强。滤纸法测定基质吸力时,保持在细小土粒间的水分不易被滤纸吸出,萎蔫点含水量较高。TB 深度处土体有机质相对较少,持水性相对较弱,水分较易释放,萎蔫点含水量较低,这与图 2、3 所体现的规律一致。

4 结语

土体孔隙结构是影响基质吸力的本质原因,林下土体孔隙分布规律受控于多种影响因素。

1. 植被发育玄武岩斜坡垂直深度 < 50 cm 范围内根系密布,与之相关的大孔隙广泛分布,很大程度上降低了土体密实程度,增大了孔隙比。而 > 50 cm

范围内根系分布稀疏,土体较密实,孔隙比较小。

2. 昆明呈贡县段家营某植被发育玄武岩斜坡垂直深度 10~20 cm 处土体基质吸力小于相同含水率下 60~80 cm 处土体基质吸力,主要由于受植被影响 10~20 cm 处土体密实度小于 60~80 cm 处土体。

3. 昭通头寨滑坡左翼某植被发育玄武岩斜坡土体垂直深度 10~20 cm 处土体基质吸力大于相同含水率下 60~80 cm 处土体基质吸力,主要由于 10~20 cm 处土体有机质含量远高于 60~80 cm 处,受有机质影响 10~20 cm 土体颗粒比表面积、毛管孔隙度较大,大小孔隙分布合理,土体结构较好。

植被发育斜坡土体结构复杂,深刻影响着基质吸力的变化,同时,也影响斜坡对降雨响应机制。降雨入渗、优先流等问题与浅层滑坡孕育有着密切的关系。测试土体基质吸力变化规律,可以反演分析土体结构,进而可以为优先流和降雨入渗等复杂变化规律的研究提供参考和佐证。

参考文献(References)

[1] Vanapalli SK, Fredlund DG, Pufahl DE. Relationship between soil-water characteristic curves and the as-compacted water content versus soil for a clay till [G] // Proceedings of Pan - American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Brazil: Iguanzu Falls, 1999: 991 - 998

[2] Kawai K, Karube D, Kato S. The model of water retention curve considering effects of void ratio [G] // Rahardjo H, Toll DG, Leong EC. Unsaturated Soils for Asia, Rotterdam: Balkema, 2000: 329 - 334

[3] Charles W W, NG, Pang Y W. Influence of stress state on soil-water characteristics and slope stability [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 2000, 126(2): 157 - 166

[4] Xue Xuzhang, Pete Stahl, Zhang Ren duo. Experimental study on relationship between matric suction and soil microbial activity [J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(5): 31 - 35

[5] Fredlund DG, Rahardjo H. Soil mechanics for unsaturated soils [M]. Chen Zhongyi, trans. Beijing: China Architecture and Building Press, 1997. (in Chinese). [弗雷德隆德 D G, 拉哈尔佐 H. 非饱和土土力学 [M]. 陈仲颐, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.]

[6] Wang Zhao, Yang Jinxin, Kuang Juanjuan, et al. Application of filter paper method in field measurement of matric suction [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2003, 25(4): 405 - 408 [王钊, 杨鑫, 况娟娟, 等. 滤纸法在现场基质吸力量测中的应用 [J]. 岩土工程学报, 2003, 25(4): 405 - 408]

[7] Bai Fuqing, Liu Sihong, Yuan Jiao. Measurement of SWCC of Nan-yang expansive soil using the filter paper method [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, 33(6): 928 - 932 [白福青, 刘斯宏, 袁娇. 滤纸法测定南阳中膨胀土土水特征曲线试验研

- 究[J]. 岩土工程学报 2011, 33(6): 928-932]
- [8] Wang Zhao, Zou Weilie, Li Xia. Measurement and application of suction in unsaturated soils[J]. Journal of Sichuan University(Engineering Science Edition) 2004, 36(2): 1-6 [王钊, 邹维列, 李侠. 非饱和土吸力量测及应用[J]. 四川大学学报(工程科学版) 2004, 36(2): 1-6]
- [9] Jiang Gang, Wang Zhao, Qiu Jinying. Suction calibration curve of homemade filter paper[J]. Rock and Soil Mechanics 2000, 21(1): 72-75 [蒋刚, 王钊, 邱金营. 国产滤纸吸力-含水量关系率定曲线的研究[J]. 岩土力学 2000, 21(1): 72-75]
- [10] Qi Guoqing, Huang Runqiu. A universal mathematical model of soil-water characteristic curve[J]. Journal of Engineering Geology, 2004, 12(02): 182-185 [戚国庆, 黄润秋. 土水特征曲线的通用数学模型研究[J]. 工程地质学报 2004, 12(02): 182-185]
- [11] Vanapalli S, Fredlund D, Pufahl D. The influence of soil structure and stress history on the soil-water characteristics of a compacted till[J]. Géotechnique 1999, 49(2): 143-160
- [12] Simms P, Yanful E. Measurement and estimation of pore shrinkage and pore distribution in a clayey till during soil-water characteristic curve tests[J]. Canadian Geotechnical Journal 2001, 38(4): 741-754
- [13] Simms P, Yanful E. Predicting soil-water characteristic curves of compacted plastic soils from measured pore-size distributions[J]. Géotechnique 2002, 52(4): 269-278
- [14] Simms P, Yanful E. A pore-network model for hydromechanical coupling in unsaturated compacted clayey soils[J]. Canadian Geotechnical Journal 2005, 42(2): 499-514
- [15] Berkowitz B, Ewing R P. Percolation theory and network modeling applications in soil physics[J]. Surveys in Geophysics 1998, 19(1): 23-72
- [16] Huang Runqiu, Qi Guoqing. Observation of Suction in A landslide[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering 2004, 26(2): 216-219 [黄润秋, 戚国庆. 滑坡基质吸力观测研究[J]. 岩土工程学报 2004, 26(2): 217-219]
- [17] Qian Jiahuan, Yin Zongze. Principle and calculation of geotextile[M]. Beijing: China Water Power Press, 1996: 5 [钱家欢, 殷宗泽. 土工原理与计算[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996: 5]
- [18] Xu Zemin. Vegetation and macropores in vadose zone of hill slopes[J]. Earth Science Frontiers 2007, 14(6): 134-142 [徐则民. 植被与斜坡非饱和带大孔隙[J]. 地质前缘 2007, 14(6): 134-142]
- [19] Liu Xiaodong, Qiao Yuna, Zhou Guoyi. Controlling action of soil organic matter on soil moisture retention and its availability[J]. Chinese Journal of Plant Ecology 2011, 35(12): 1209-1218 [刘效东, 乔玉娜, 周国逸. 土壤有机质对土壤水分保持及其有效性的控制作用[J]. 植物生态学报 2011, 35(12): 1209-1218]
- [20] Oades JM. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management[J]. Plant and Soil 1984, 76(1-3): 319-337
- [21] Haynes RJ, Swift RS, Stephen RC. Influence of mixed cropping rotations (pasture-arable) on organic matter content, water stable aggregation and clod porosity in a group of soils[J]. Soil and Tillage Research 1991, 19(1): 77-87
- [22] Chertov OG, Komarov AS, Bykhovets SS, et al. Simulated soil organic matter dynamics in forests of the Leningrad administrative area, northwestern Russia[J]. Forest Ecology and Management, 2002, 169(1-2): 29-44
- [23] Zhang Yong, Pang Xueyong, Bao Weikai, et al. A review of soil organic matter and its research methods[J]. World Sci-Tech R & D 2005, 27(5): 72-78 [张勇, 庞学勇, 包维楷, 等. 土壤有机质及其研究方法综述[J]. 世界科技研究与发展 2005, 27(5): 72-78]
- [24] Huang Chengbiao, Liang Hongwen. Investigation on soil hydro-physical properties of forest soil at different geographic regions in Guangxi[J]. Soil and Environmental Sciences 1999, 8(2): 96-100 [黄承标, 梁宏温. 广西不同地理区域森林土壤水文物理性质研究[J]. 土壤与环境 1999, 8(2): 96-100]
- [25] Jing Guochen, Liu Xujun, Ren Xianping. Influence of soil erosion on soil properties of black soil bank farming[J]. Research of Soil and Water Conservation 2008, 15(6): 28-31 [景国臣, 刘绪军, 任宪平. 黑土坡耕地土壤侵蚀对土壤性状的影响[J]. 水土保持研究 2008, 15(6): 28-31]
- [26] Zhong Guohui, Tian Fayi, Wang Mu, et al. Soil fertility of croplands in major agricultural areas in Tibet[J]. Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(6): 1030-1034 [钟国辉, 田发益, 旺姆, 等. 西藏主要农区农田土壤肥力研究[J]. 土壤学报 2005, 42(6): 1030-1034]
- [27] Wang Guoliang, Liu Guobin, Zhou Shenglu. The effect of vegetation restoration on soil stable infiltration rates in small watershed of loess gully region[J]. Journal of Natural Resources 2003, 18(5): 529-535 [王国梁, 刘国彬, 周生路. 黄土丘陵沟壑区小流域植被恢复对土壤稳定入渗的影响[J]. 自然资源学报 2003, 18(5): 529-535]
- [28] Peng Xinhua, Zhang Bin, Zhao Qiguo. Effect of soil organic carbon on aggregate stability after vegetative restoration on severely eroded red soil[J]. Acta Ecologica Sinica 2003, 23(10): 2176-183 [彭新华, 张斌, 赵其国. 红壤侵蚀裸地植被恢复及土壤有机碳对团聚体稳定性的影响[J]. 生态学报 2003, 23(10): 2176-2183]
- [29] Zhao Shiwei, Zhou Yindong, Wu Jinshui. Soil moisture characteristics of different vegetation in northern of Ziwoiling[J]. Journal of Soil and Water Conservation 2002, 16(4): 119-122 [赵世伟, 周印东, 吴金水. 子午岭北部不同植被类型土壤水分特征研究[J]. 水土保持学报 2002, 16(4): 119-122]
- [30] Shan Xiuzhi, Wei Youqing. Influence of organic matter content on soil hydrodynamic parameters[J]. Acta Pedologica Sinica 1998, 35(1): 1-9 [单秀枝, 魏由庆. 土壤有机质含量对土壤水动力学参数的影响[J]. 土壤学报 1998, 35(1): 1-9]
- [31] Hillel D. Introduction to Soil Physics[M]. San Diego: Academic Press, 1982: 243-248
- [32] Zhu Zuxiang, pedology[M]. Beijing: Agriculture Press, 1982: 104-158 [朱祖祥. 土壤学[M]. 北京: 农业出版社, 1982: 104-158]

Soil Matric Suction and Its Influencing Factors on a Well Vegetated Basalt Slope

ZHANG Lei^{1,2}, XU Zemin³, HOU Ruji³, REN Bangzheng¹

(1. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650093, China;

2. College of Geology, Gansu Industry Polytechnic College, Tianshui, Gansu 741025, China;

3. Faculty of Civil Engineering and Mechanics, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650500, China)

Abstract: Plant roots are densely scattered in soil shallower than 50cm of unsaturated zone on a vegetated slope. Those related soil macro pores substantially reduce soil compaction, while in region deeper than 50 cm, soil density is much larger and its porosity smaller. Soil matric suction is significantly affected by pore distribution. This paper takes undisturbed samples (No. XA and XB) from vertical depth 10 ~ 20 cm and 60 ~ 80 cm of a vegetated basalt slope of Chenggong Kunming, it then tests the matric suction of the samples, and the results show that XA is less than XB in matric suction when the moistures are the same. This paper further more takes undisturbed samples (No. TA and TB) from vertical depth 10 ~ 20 cm and 60 ~ 80 cm of a vegetated basalt slope beside Touzhai Land-slide, and conducts a matric suction experiment. The results show that TA is greater than TB in matric suction when the moistures are the same. Test against the organic matter content of experimental zones finds that TA and TB are 14.89% and 3.28% respectively, while XA, XB are 1.05% and 0.39%. Since the structure of soil organic matter is porous, it thus enlarges surface area and capillary porosity of the soil, which in turn enhances particle grade and soil structure. Thus absorption ability of the soil is strengthened, which is beneficial to moisture retention of soil and affects the soil water characteristic curve (SWCC).

Key words: well vegetated slope; matric suction; soil organic matter; soil macropore; preferential flow; landslide

封面照片: 天山博格达峰

天山位于欧亚大陆腹地,是世界上距离海洋最远的山系和全球干旱地区最大的山系,横跨中国、哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦和乌兹别克斯坦四国,呈东西走向,全长约 2 500 km,南北平均宽 250 ~ 350 km,最宽处超过 800 km,主体位于中国的新疆,是新疆境内的主要山系之一。天山山系由 3 列山脉组成,由北往南分别是北天山、中天山和南天山。天山是欧亚大陆腹地的“天然水塔”,其积雪融水维系着当地及周边地区生物的繁衍生存,是新疆的生态屏障,生态地位十分重要。

照片为海拔 5 445 m 的北天山主峰博格达峰。