

杨静,王升,丁亚丽,等.喀斯特白云岩地区不同土体构型土壤剖面持水导水性能研究[J].中国岩溶,2020,39(5):697-704.
DOI:10.11932/karst20200507

喀斯特白云岩地区不同土体构型土壤剖面持水导水性能研究

杨静^{1,2,3},王升^{2,3,4},丁亚丽^{2,3},陈洪松^{2,3}

(1. 贵州大学林学院, 贵阳 550025; 2. 中国科学院亚热带农业生态研究所/亚热带农业生态过程重点实验室, 长沙 410125; 3. 中国科学院环江喀斯特生态系统观测研究站, 广西 环江 547100; 4. 南宁师范大学北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 南宁 530001)

摘要:喀斯特区整体土层浅薄且分布不连续,土层和基岩构成了不同的土体构型剖面,而这些剖面的持水导水性能之间是否存在差异,目前尚缺乏清楚的认识。本文通过BEST单环入渗方法研究了喀斯特白云岩区三种土体构型土壤剖面(深厚土层剖面(DS)、浅薄土层剖面(SS)以及土石混合剖面(SR))的持水性能和导水性能。试验结果表明,不同土壤剖面的持水性能、导水性能主要受不同层次土壤颗粒组成特征及剖面构型影响。三种剖面表层土壤都具有较高的导水能力,以SR表层饱和导水率(K_s)最高,可达 $244.1\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$,而SS表层 K_s 为 $56.8\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。DS除表层和风化层外,土壤黏重,导水能力较弱,但是体现出较高的持水能力;SS整体导水能力较弱,持水能力较好;SR土壤疏松,整体持水、导水能力均较好,土石层导水能力相对最差而持水能力最好。就土壤有效水含量而言,SR最高,DS和SS由于土壤较黏重,有效水含量相对较低。该研究结果可为喀斯特地区植被恢复位点的选择提供科学指导和理论依据。

关键词:单环入渗;导水率;土壤有效水;水分特征曲线;水力特性

中图分类号:S152.7 文献标识码:A

文章编号:1001-4810(2020)05-0697-08 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 引言

喀斯特地貌以可溶性碳酸盐岩为主,占全球陆地总面积的15%左右^[1]。碳酸盐岩具有风化成土速率慢、生态系统脆弱、岩石裂隙发育、水文过程变化迅速等特征,因此碳酸盐岩风化后的残留物极易被水冲刷而流失,导致土壤瘠薄^[2],植物生存环境严苛。喀斯特地区植被常呈现斑块状间断分布,相邻地块植被有可能迥异不同^[3],这主要和下垫面条件有关,尤其是和土壤性质及下伏基岩岩性的空间分布有

关。土壤和下伏基岩的空间分异形成不同的土壤—岩石结构,导致土壤水分蓄持、传导以及供给的空间分异。虽有研究表明,喀斯特地区表层岩溶带裂隙储水能帮助植物抵御干旱,支持高大乔木的生长需求,但土壤水分仍是该区植物、尤其是浅根系植物最重要的水分来源^[4-6]。因此,研究喀斯特地区土壤的水分蓄持传导功能,对植被恢复位点的选择以及植被恢复重建成效的评估具有重要的指导意义。

在喀斯特地区,大部分降水经土壤层迅速渗透至地下,坡面地表径流主要受下伏基岩结构的影响,

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(41807175);广西自然科学基金创新研究团队项目(2018GXNSFGA281003);中国科学院国际伙伴计划课题(132852KYSB20170029);贵州大学引进人才科研项目[2016(22)]

第一作者简介:杨静(1987—),女,讲师,主要从事水土保持与生态水文研究。E-mail:jyang13@gzu.edu.cn。

通信作者:陈洪松(1973—),男,研究员,主要从事土壤物理与生态水文研究。E-mail:hbchs@isa.ac.cn。

收稿日期:2020-01-06

径流系数极低($<5\%$)^[7-9]。Chen 等^[10]发现陡峭的喀斯特坡地表层近饱和导水率变化范围为 $45\sim 660\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$, 该类土壤质地较粗, 渗透性强, 水文过程迅速。但是, 喀斯特地区也常常镶嵌分布着深厚、黏质土壤, 因此土壤的导水能力在空间上存在较大差异^[11-12]。Fu 等^[11]对不同坡位土壤剖面的饱和导水率(K_s)进行了对比分析, 发现上坡、下坡以及洼地土壤剖面 K_s 因土层厚度、土壤质地及土壤孔隙度的变化而差异显著。同样地, 土壤的持水供水性能也会因土壤剖面性质和分层情况而有所差异。喀斯特地区, 尤其是白云岩地区, 由于非均匀风化, 土层中常含一定量的碎石^[13]。根据碎石含量以及土层厚度, 白云岩坡地呈现出不同类型的土体构型剖面, 并对应着不同的生态水文功能。然而, 目前对反映不同构型剖面生态水文功能的各层土壤水力特性差异尚缺乏清楚的认识。

土壤水力特性主要包括土壤水分特征曲线, 饱和导水率(K_s)等, 可用于模拟土壤水分和溶质运移等重要水文过程^[14-15]。土壤水分特征曲线是土壤含水量和土壤吸水力之间的关系曲线, 可以反映土壤的持水能力、有效水含量以及土壤孔隙分布等特征; K_s 则反映了土壤的导水能力, 对水文过程、土壤侵蚀等方面的研究具有重要的指导意义。本文选取了白云岩区三种不同土体构型土壤剖面, 通过野外原位单环入渗试验, 研究不同层次土壤的持水、导水性能, 以期为喀斯特地区的植被恢复重建和水文过程的发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于桂西北环江毛南族自治县中国科学院环江喀斯特生态系统观测研究站木连综合试验示范区($108^{\circ}18'56.9''\sim 108^{\circ}19'58.4''\text{E}$, $24^{\circ}43'58.9''\sim 24^{\circ}44'48.8''\text{N}$), 面积约 1.14 km^2 。研究区年均气温为 19.6°C , 年均降雨量 1389 mm , 雨季降雨占全年降雨量的 60% 以上^[16]。研究区地貌类型属于典型的喀斯特峰丛洼地(白云岩), 海拔高度范围为 $272.0\sim 647.2\text{ m}$, 坡地都较为陡峭, 其中坡度 $\geq 25^{\circ}$ 的坡地约占 60% ; 下坡和洼地坡度较缓。坡地基岩裸露率约 30% , 土壤厚度 $10\sim 50\text{ cm}$; 洼地基岩裸露率约 15% , 相应的土层深度为 $20\sim 160\text{ cm}$ 。土壤渗透性强, 地表径流稀少, 径流系数小于 5% ^[9]。研究区植被覆盖类型多以灌

(草)丛为主, 少数的乔木林只存在于连片石丛区和坡脚土壤深厚区域。研究区自 1985 年起, 居民外迁, 耕地撂荒, 至今已恢复了约 35 年。然而, 由于之前的人为干扰, 植被破坏严重, 目前生态恢复仍处于草丛和草灌阶段, 属典型的喀斯特峰丛洼地人为干扰自然恢复区。

1.2 试验样点选择

研究样点位于研究区东面一灌丛坡, 该处坡度平缓($<5^{\circ}$), 下坡部分土壤堆积深厚。本试验共选择了三种主要的土体构型剖面为研究对象, 包括深厚土层剖面(DS)、浅薄土层剖面(SS)和土石混合剖面(SR)(图 1)。DS 深度超过 200 cm , 碎石含量低, 其上部为较为黏重的土壤剖面, 下部为高度风化的白云岩基岩, 其风化程度较高, 表现为类似砂质土壤的基质。SS 为不含碎石的土壤剖面, 土层深度不超过 30 cm , 整体上土壤较为粘重, 约 15 cm 处为淋溶层和淀积层的分界线。SR 深度约 60 cm , 表层和下层土壤几乎不含碎石, 土壤较为疏松; 中层($20\sim 40\text{ cm}$)碎石含量较高(30% 至 50%), 为土石混合层。根据不同剖面土壤的结构分层情况, 各剖面的采样间隔有所差异。DS 为表层、 10 、 50 、 100 、 150 和 200 cm , 其中 150 cm 为风化层上约 5 cm 的土壤层, 200 cm 处为风化基质; SS 为表层、 15 和 25 cm ; SR 为表层、 25 (土石混合层)和 45 (纯土层) cm 。

1.3 测定方法与数据处理

本试验于 2013 年 11 月进行, 采用 Beerkan 零压头单环入渗方法^[17-18]测定各层土壤入渗特征, 并以此计算土壤的导水率、 K_s 以及水分特征曲线。每种土体构型剖面各有 $3\sim 5$ 个重复。将内径为 15.2 cm 的 PVC 管制作成高约 10 cm 的单环, 将下部 1 cm 的位置均匀打磨, 使单环底部尖锐易插入土体。试验前在试验点附近采集环刀样, 用于测定土壤容重和初始含水量; 采集混合扰动土样测定土壤质地。在没有扰动的地方将试验深度土面修整至水平(用水平尺测量多个方向), 使用橡胶锤轻轻将单环敲入土体 1 cm 深度, 保持单环水平以确保各个方向的水层高度一致。设置好单环后, 将 1 cm 深的水(折合 181 mL)倒入单环内, 开始计时, 当水完全入渗后记录时间并加入等量的水, 重复以上步骤直至每次入渗时间稳定($5\sim 7$ 次)。试验结束后, 在入渗点采集各试验深度表层 1 cm 土壤样品测定饱和含水量, 并采集原状土(环

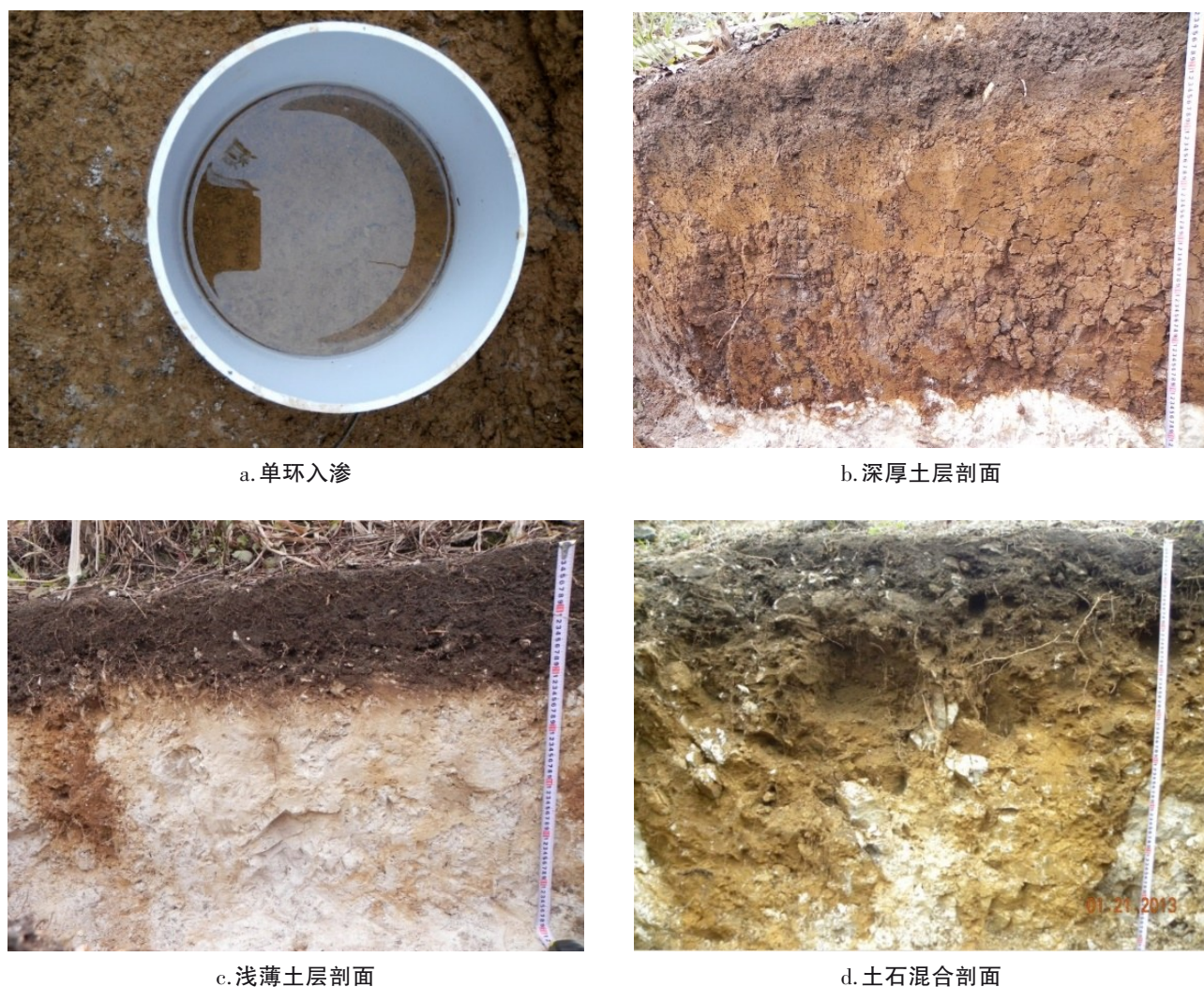


图 1 单环入渗试验及三种土体构型土壤剖面照片

Fig. 1 Photos of single-ring infiltrometer tests and three kinds of soil profiles with different architectures

刀法,环刀体积 V 为 100 cm^3 ,重量为 m_0)和扰动土以测定土壤容重、机械组成、毛管含水量以及费毛管含水量等。环刀采集的原状土带回试验室放置于盆中,加水约 2 mm 进行浸泡, 8 h 后称重,记 m_1 ;继续往盆中加水至距空环刀顶部约 1 mm 的位置,继续浸泡 24 h 至土壤饱和(有的黏土浸泡时间更长,饱和后土壤表层会有一层可见水膜),称重记 m_2 ;随后将环刀放至烘箱 $105\text{ }^\circ\text{C}$ 烘干 24 h 至恒重,称重记 m_3 。容重可通过 $(m_3-m_0)/V$ 进行计算,饱和含水量为 $(m_2-m_3)/V$,毛管持水量为 $(m_1-m_3)/V$,饱和含水量与毛管持水量之差即为非毛管持水量。扰动土带回实验室风干后分别过 2 mm 筛,并采用鲍氏比重计法测定土壤的粘粒、粉粒及砂粒含量。

运用 R 和 Excel 2010 对数据进行分析,图形制作运用了 Excel 2010 软件。

2 试验结果

2.1 不同土体构型剖面土壤物理性质

表 1 所示 DS 土壤质地的垂直变化为壤土—黏土—壤土—砂土;对应地,黏粒含量随深度增加先增大而后减小, 50 cm 层黏粒含量最高,达 60.6% ;粉粒和沙粒含量变化与黏粒含量相反。SS 除无风化的砂土层外,土壤质地与 DS 类似,为壤土—黏土—壤土;SR 土壤质地都为壤土, 25 cm 土壤黏粒含量相对最高。三种剖面除 DS 在 200 cm 的风化层具有较高的容重外,其他层次的变化不明显,变化范围为 $1.0\sim 1.2\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。三种剖面毛管含水量均呈现出随土层深度增加先增加后减小的趋势,但非毛管持水量整体呈现随土层深度增加而减小的趋势。

表1 不同土体构型土壤剖面各层次的土壤物理性质

Table 1 Physical properties of each layer in soil profiles with different architectures

剖面	层次	质地	黏粒/%	粉粒/%	砂粒/%	容重/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	毛管持水 量/%	非毛管持 水量/%	有效水含 量/%
深厚土层 剖面(DS)	表层	壤土	34.0	28.4	37.6	1.0	33.8	8.9	8.4
	10 cm	壤土	32.2	31.1	36.7	1.0	42.7	5.2	11.8
	50 cm	黏土	60.6	16.4	23.0	1.2	48.6	2.8	8.9
	100 cm	黏土	54.5	17.2	28.3	1.1	51.9	2.9	7.9
	150 cm	壤土	31.5	20.7	47.8	1.2	45.7	3.9	7.8
	200 cm	砂土	3.7	22.6	73.7	1.5	32.2	6.4	7.8
浅薄土层 剖面(SS)	表层	壤土	27.7	28.5	43.8	1.0	38.7	7.1	8.2
	15 cm	黏土	49.2	24.7	26.1	1.2	48.4	6.6	9.5
	25 cm	壤土	28.6	27.8	43.6	1.1	46.7	6.4	9.5
土石混合 剖面(SR)	表层	壤土	27.0	24.0	48.0	1.0	28.9	11.6	11.8
	25 cm	壤土	35.1	22.9	42.0	1.1	36.8	11.5	15.5
	45 cm	壤土	16.6	28.7	54.7	1.0	33.5	9.9	16.2

2.2 不同土体构型剖面的饱和导水率

三种土壤构型剖面土壤 K_s 均表现为表层最高, SR 表层土壤 K_s 更是高达 $244.1 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$, 但 SS 表层相对较低, 为 $56.8 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ (图2)。DS 中, K_s 随土层深度增加先减小后增加的趋势; 与土壤质地相对应, 50 cm

处黏粒含量最高, K_s 在此处最低; 值得注意的是, 风化层 K_s 相对较高 ($58.0 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$), 在 DS 中仅次于表层土壤。SR 整个剖面导水能力都较好, 其中土石层 (25 cm) K_s 相对较低, 纯土层 (45 cm) 由于土壤质地较粗 K_s 相对较高。三种剖面中, SS 各层 K_s 最小, 尤其是表层以下层次土壤透水性很差, K_s 趋近于 0。

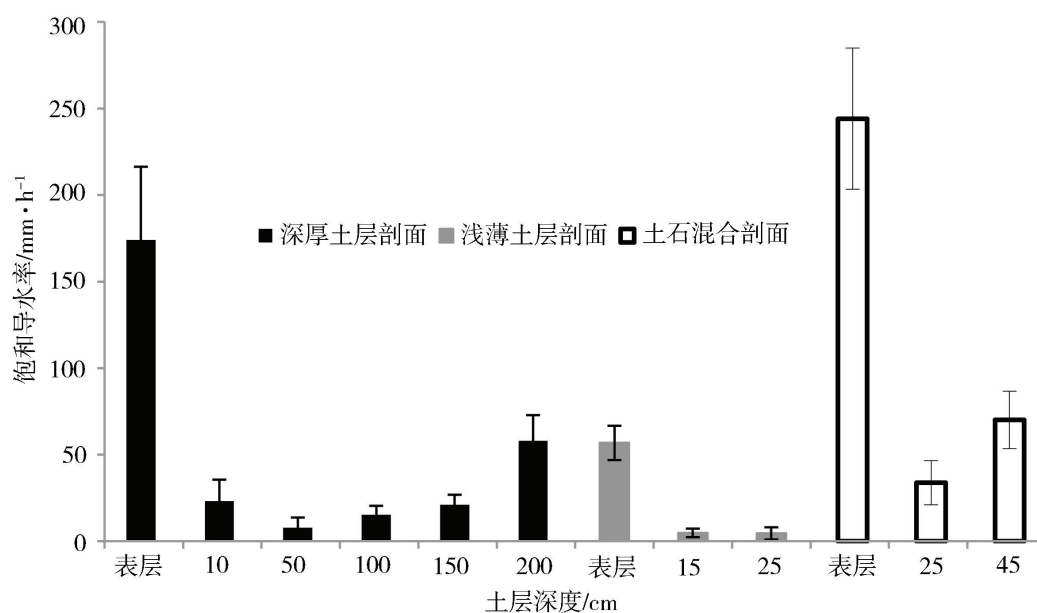


图2 不同土体构型剖面各层次土壤饱和导水率特征

Fig. 2 Soil saturated conductivity features of each layer in soil profiles with different architectures

2.3 不同土体构型剖面各层土壤导水率随吸力的变化

不同土体构型剖面各层次土壤导水率随土壤水吸力的增加而降低(图3),但导水率却表现出较大的差异。DS中50~150 cm土层、SR中15~25 cm,土壤导水率在100 mm水柱以下压力范围内迅速较小;

100 mm以上土壤导水率变化很小,且趋近于0;在吸力增加至400~600 mm时两种剖面表层及DS的风化层土壤导水率才降至0左右。与 K_s 对应,SR各层土壤的导水率相对较高,且土壤水吸力在400 mm以下都能保持较好的导水能力,当土壤水吸力升高至600 mm以上时,土壤几乎不导水。

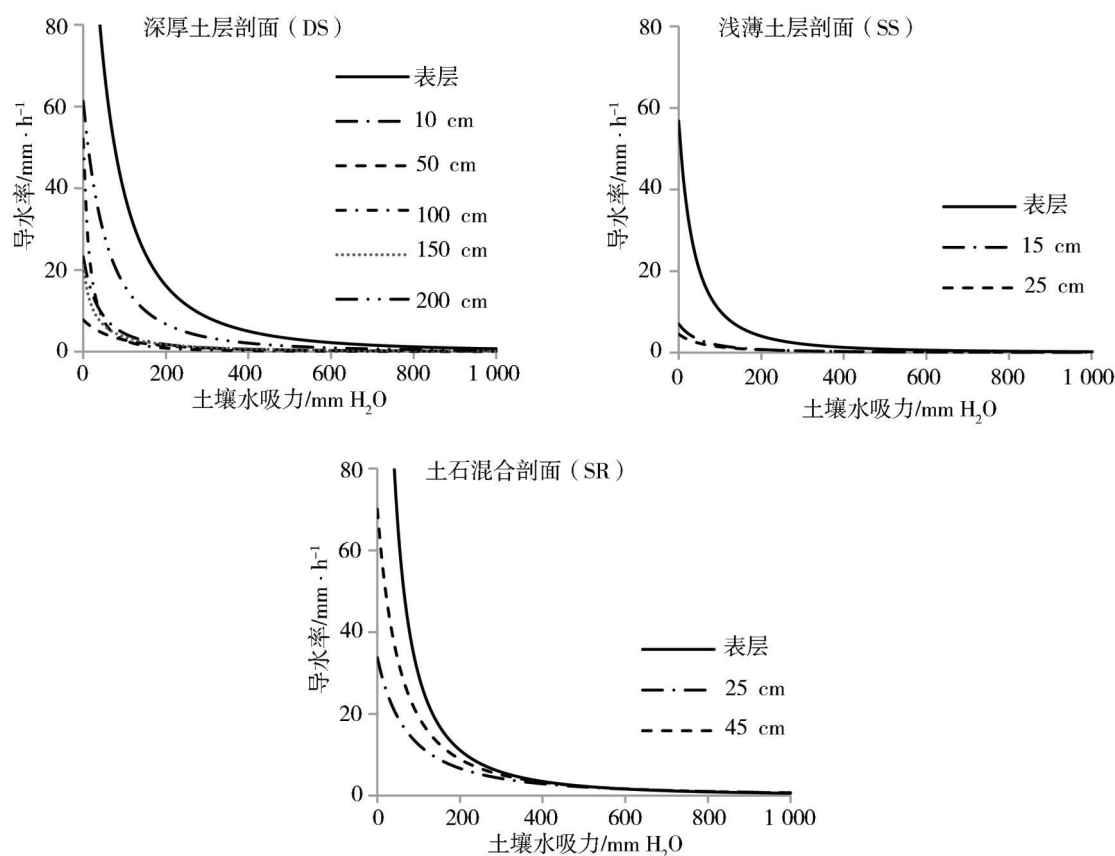


图3 不同土体构型剖面各层次土壤导水率特征

Fig. 3 Soil conductivity features of each layer in soil profiles with different architectures

2.4 不同土体构型剖面各层土壤持水曲线

不同土体构型剖面各层次土壤持水曲线存在差异(图4)。DS中10~150 cm持水曲线比较接近,其持水能力强,在各土壤水吸力下的含水量都较高;表层土壤比上述层次略低,风化层最低,说明其持水能力较差。SS各层土壤持水能力都较强,表层略低,其在80 000 mm水柱压力下含水量约为 $0.35 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ 。SR各层次间的持水能力因土壤质地变化而具有较大差异,其中25 cm土石混合层最高,45 cm纯土层最低。整体而言,DS和SS的土壤持水能力优于SR。根据各特征曲线计算得到的有效含水量中(表1),SR最高,而DS和SS,由于土壤较黏重,有效持水量相对较低。

3 讨论

3.1 不同土体构型剖面的水力传导特征

因各剖面土壤水文物理性质、下垫面情况以及含碎石情况不同,各土体构型剖面的水文功能有所差异。本研究表明三种土体构型剖面表层土壤 K_s 均较高,此结果与Chen等^[10]和Fu等^[11]的研究结果一致。表层土壤的黏粒含量较低,且含有植物根系等成分,导致土壤非毛管孔隙度增加, K_s 较高^[11,19]。表层导水能力强可使降水快速入渗,较少产生地表径流^[9]。但是,除表层土壤外,是否产生地表径流还受下层土壤或基岩的导水能力影响。本次研究发现,在SS中,除

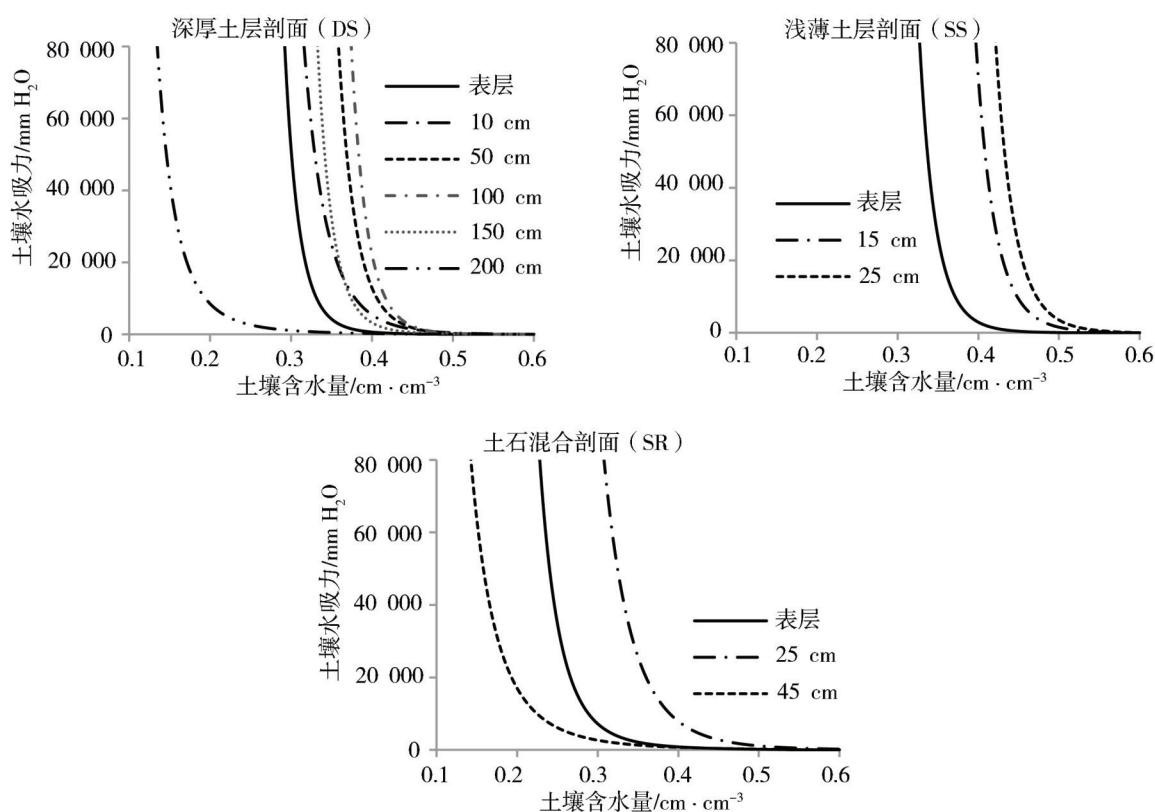


图4 不同土体构型剖面各层次土壤持水特征曲线

Fig. 4 Soil water holding capacity curves of each layer in soil profiles with different architectures

表层土壤外,其余各层土壤的 K_s 都处于较低水平,从而影响了水分的进一步下渗运移。导致 K_s 较低的主要原因可能是受土壤质地(15 cm层)和下伏基岩(25 cm层)的影响。有学者通过模拟降雨试验发现,标准径流小区表层岩溶带的稳定入渗速率约为 $40 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1[20-21]}$,但表层岩溶带的渗透性也存在较大的空间异质性。本研究对SS剖面下伏基岩进行了入渗试验分析,发现其入渗率非常小($<1 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$),极大地限制了水分下渗,在该类型区域容易产生地表径流。DS中 K_s 整体随土层深度增加先减小后增加,该结果与Yang等^[12]得到的规律一致。 K_s 随土层深度增加而减小原因主要是由于土壤黏粒含量随深度增加而增加^[19];深层土壤 K_s 增大是因为剖面底部发育有较厚的、高度风化的白云岩碎屑,其质地与砂土类似,具有较高的导水能力^[12]。虽然上层入渗水分的运移有限,但是在岩土界面风化层的发育无疑是一个很好的产流快速通道^[20,22]。三种构型剖面中,SR整体导水性最好,水力连通性好,水分快速下渗,地表产流少。Chen等^[11]通过盘式入渗试验发现,碎石的存在很大程度地提高了土壤水分的入渗率。而本研究中

SR土石混合层(25 cm) K_s 最低,碎石并没有促进土壤的水分入渗,这可能主要是与土壤性质有关,如表1所示,土石混合层土壤较黏重,而表层和下层土壤黏粒含量均较低,土壤容重小,疏松多孔,利于土壤水分的传导。

3.2 不同土体构型剖面的持水供水特征

喀斯特地区虽土层浅薄,但土壤水是该地区植物生长的重要来源^[4,6],因此土壤的水分蓄持能力对植物生长尤为重要。整体来讲,三种构型剖面土壤持水能力均较好,能较好地储存水分。其中,DS土壤深度大,储水能力是三种类型中最强的;SR土壤疏松,质地粗糙,持水能力相对较弱,但其主要发挥水分快速通道的作用。前期研究表明,土壤的生态水文功能,主要取决于土壤的质地及其分层情况^[12]。三种剖面类型中,DS土壤黏重,有效水含量不高(表1),但其土层深厚,储水总量大,因此,DS的实际供水能力需要进一步同时监测土壤和植物的水势来阐明。值得注意的是,虽然SS也具有较好的持水能力,有效水含量也较高,但其土壤层浅薄,能供应的水分较为有限。SR虽然持水能力稍弱,但该类型土壤有

效水含量高,且土质疏松,利于植物根系的穿插,可能是喀斯特地区植物生长的重要基质。不同土体构型在空间上的镶嵌分布,使得土壤含水呈现斑块状分布,促使植物的空间分布不均。

4 结 论

(1)不同土体构型土壤剖面的导水性质不同。DS土壤黏重,除表层和风化层外,各层土壤 K_s 均较低;SS与DS类似,整个剖面导水能力均较弱。在DS与SS分布区域,可能会产生地表径流。SR土壤疏松多孔,导水能力好,是该区域土壤水分的快速运移通道;

(2)DS和SS土壤持水能力较强,但是受到黏土层的影响,土壤有效含水量并不高,对植物水分的供应能力尚不明确;SR土壤持水能力稍弱,但是其有效水含量高,且土质疏松利于根系穿插,可能成为该区利于植物生长的基质;

(3)由于土壤质地和结构的差异,不同土体构型土壤剖面呈现出不同的生态水文功能。总体而言,DS可作为重要的土壤水分储存基质,但不利于水分运移;SS虽持水较好,但在水分传导和供给方面均欠佳;SR既利于水分的快速传导,也可为植物提供水分来源。

参考文献

- [1] 袁道先. 我国西南岩溶石山的环境地质问题[J]. 世界科技研究与发展, 1997, 19(5): 41-43.
- [2] 王世杰, 李阳兵. 喀斯特石漠化研究存在的问题与发展趋势[J]. 地球科学进展, 2007, 22(6): 573-582.
- [3] Nie Y P, Ding Y L, Zhang H L, et al. Comparison of woody species composition between rocky outcrops and nearby matrix vegetation on degraded karst hillslopes of Southwest China [J]. Journal of Forestry Research, 2019, 30(3): 911-920.
- [4] 邢丹, 肖玖军, 韩世玉, 等. 基于稳定同位素的石漠化地区桑树根系水来源研究[J]. 农业工程学报, 2019, 35(15): 77-84.
- [5] 邹巧云, 陈洪松, 马星宇, 等. 基于控水试验的喀斯特出露基岩生境植物水分来源分析[J]. 应用生态学报, 2019, 30(3): 759-767.
- [6] Nie Y P, Chen H S, Wang K L, et al. Water source utilization by woody plants growing on dolomite outcrops and nearby soils during dry seasons in karst region of Southwest China [J]. Journal of Hydrology, 2011, 420-421: 264-274.
- [7] Gregory L, Wilcox B P, Shade B, et al. Large-scale rainfall simulation over shallow caves on karst shrublands [J]. Ecohydrology, 2009, 2: 72-80.
- [8] Peng T, Wang S J. Effects of land use, land cover and rainfall regimes on the surface runoff and soil loss on karst slopes in southwest China [J]. Catena, 2012, 90: 53-62.
- [9] 陈洪松, 杨静, 傅伟, 等. 桂西北喀斯特峰丛不同土地利用方式坡面产流产沙特征[J]. 农业工程学报, 2012, 28(16): 121-126.
- [10] Chen H S, Liu J W, Zhang W, et al. Soil hydraulic properties on the steep karst hillslopes in northwest Guangxi, China [J]. Environmental Earth Sciences, 2012, 66(1): 371-379.
- [11] Fu T G, Chen H S, Zhang W, et al. Vertical distribution of soil saturated hydraulic conductivity and its influencing factors in a small karst catchment in Southwest China [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2015, 187(3): 92.
- [12] Yang J, Nie Y P, Chen H S, et al. Hydraulic properties of karst fractures filled with soils and regolith materials: Implication for their ecohydrological functions [J]. Geoderma, 2016, 276: 93-101.
- [13] Chen H S, Liu J W, Wang K L, et al. Spatial distribution of rock fragments on steep hillslopes in karst region of northwest Guangxi, China [J]. Catena, 2010, 84(1): 21-28.
- [14] Schwen A, Zimmermann M, Bodner G. Vertical variations of soil hydraulic properties within two soil profiles and its relevance for soil water simulations [J]. Journal of Hydrology, 2014, 516: 169-181.
- [15] 胡传旺, 王辉, 刘常, 等. 南方典型土壤水力特征差异性分析[J]. 水土保持学报, 2017, 31(2): 97-102.
- [16] 杨静, 陈洪松, 聂云鹏, 等. 典型喀斯特峰丛洼地降雨特性及浅层地下水埋深变化特征[J]. 水土保持学报, 2012, 26(5): 239-243.
- [17] Lassabatère L, Angulo-Jaramillo R, Soria Ugalde JM, et al. Beerkan estimation of soil transfer parameters through infiltration experiments-BEST [J]. Soil Science Society of America Journal, 2006, 70: 521-532.
- [18] 雍晨旭, 樊军, 王胜. 坡度对3种单环法测量坡地饱和导水率的影响[J]. 中国水土保持科学, 2018, 16(2): 24-30.
- [19] Zhao P P, Shao M A, Wang T J. Spatial distributions of soil surface-layer saturated hydraulic conductivity and controlling factors on dam farmlands [J]. Water Resources Management, 2010, 24(10): 2247-2266.
- [20] Fu Z Y, Chen H S, Zhang W, et al. Subsurface flow in a soil-mantled subtropical dolomite karst slope: A field rainfall simulation study [J]. Geomorphology, 2015, 250: 1-14.
- [21] Wang S, Fu Z Y, Chen H S, et al. Mechanisms of surface and subsurface runoff generation in subtropical soil-epikarst systems: Implications of rainfall simulation experiments on karst slope [J]. Journal of Hydrology, 2020, 580: 1-13.
- [22] Sohr J, Ries F, Sauter M, et al. Significance of preferential flow at the rock-soil interface in a semi-arid karst environment [J]. Catena, 2014, 123: 1-10.

Moisture-retaining and transmissibility properties of soil profiles with different architectures in dolomite karst areas

YANG Jing^{1,2,3}, WANG Sheng^{2,3,4}, DING Yali^{2,3}, CHEN Hongsong^{2,3}

(1. College of Forestry, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China; 2. Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha, Hunan 410125, China; 3. Huanjiang Observation and Research Station for Karst Ecosystem, Chinese Academy of Sciences, Huanjiang, Guangxi 547100, China; 4. Key Laboratory of Beibu Gulf Environment Change and Resources Use, Ministry of Education, Nanning Normal University, Nanning, Guangxi 530001, China)

Abstract In karst areas, soil is generally shallow and discontinuous, where unevenly distributed soil beds and bedrock in soil profiles with different architectures. Whether their moisture-retaining and transmissibility properties are variable remains unclear. To address this issue, the BEST single-ring infiltrometer method was employed to investigate such soil profiles in a dolomite karst area, namely, deep soil profile (DS), shallow soil profile (SS) and soil-rock mixture profile (SR), respectively. The results show that the hydraulic properties above mentioned of these profiles are different, which are mainly affected by soil particle component and profile architecture features. The surface soil of three kinds of soil profiles have high water conductivity, among which surface Ks of the soil-rock mixture profile (SR) is the highest, up to $244.1 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, while the surface Ks of shallow soil profile (SS) is only $56.8 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$. For deep soil profile (DS), the soil is clayey and of low water conductivity but of high water holding capacity except for surface soil and regolith layers. Due to the impact of underlying bedrock, shallow soil profile (SS) shows low water conductivity and high water holding capacity as a whole. In the soil-rock mixture profile (SR), loose soil beds have both good water conductivity and holding capacity, while the rock layer has relatively poor water conductivity but better water holding capacity. In the soil's effective water content, the SR is the highest, while DS and SS are relatively lower due to the clayey soils. The results of this study could provide scientific guidance for the selection of vegetation restoration sites in karst areas.

Key words single-ring infiltrometer, soil hydraulic conductivity, effective soil water content, soil water reserved curve, hydraulic property

(编辑 张玲)