

何贝贝,沈有信,朱习爱,等. 滇石林石漠化与次生林的土壤含水率时空变化比较研究[J]. 中国岩溶, 2018, 37(4): 555-561.
DOI:10.11932/karst20180409

滇石林石漠化与次生林的土壤含水率 时空变化比较研究

何贝贝¹, 沈有信¹, 朱习爱¹, 刘志勇²

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223; 2. 宜良县市政园林管理所, 云南 宜良 652100)

摘 要: 土壤水分是植被发育和生态恢复的关键。降雨、植被等影响着土壤含水率的时空异质性的变化, 这种作用在西南喀斯特地区尤为显著。以云南石林为例, 选取典型石漠化样地及次生林样地, 利用 PR2(PR2-UM-2.0) 传感器于每月月末对两类样地中 0~1 000 mm 土层的土壤含水率进行测定。结果表明: (1) 石漠化样地各土层的土壤含水率在 1 年测定时间范围内均显著高于次生林样地, 这与非喀斯特区域植被—土壤含水率关系不同; (2) 两类样地的 1 年内各月土壤含水率之间差异显著, 雨季各层土壤含水率高且波动较旱季小; (3) 土壤含水率随土层深度增加而增加, 400~600 mm 范围增幅最大, 600 mm 以下的土壤含水率增幅会逐渐减小。

关键词: 喀斯特地区; 土壤含水率; 时间序列; 土层垂直变化; 植被影响

中图分类号: S152

文献标识码: A

文章编号: 1001-4810(2018)04-0555-07

0 引 言

土壤水分是植被生长和生态恢复的关键。在降雨、植被等因素的影响下, 土壤含水率具有高度时空异质性^[1-3], 主要表现为水平分异、垂直分异、季节变化、干湿季差异和日变化^[4-6]; 且这些异质性规律在不同的植被、不同土地利用方式、微地形地貌差异和土壤理化性质的差异上表现出不同的特征^[7-10]。

降雨显著影响着土壤含水率亏缺的次数、持续时间^[11]; 植物生长需水及蒸腾耗水则会导致深层土壤储水量的变化^[12-13]。喀斯特地区, 土壤含水率随土层深度增加而增加^[6, 14-15], 但增加的速率随土层深度增加而降低, 且一年内各季节间表现不一^[6, 16]。土壤水分在一年中的变化大致可分为: 消耗期、积累期、消退期和稳定期^[17]。现有的喀斯特土壤水分时空变化

规律的研究结论来源于土壤表层(0~100 mm)、亚表层(100~200 mm)和根层(200~400 mm), 缺乏较深层级的研究结果。黄土丘陵沟壑区的研究显示, 600 mm 以下土层的土壤水分含量在一年中的变异较上层小, 受气象条件影响甚微, 当深度达到或超过 1 000 mm 后, 土壤水分相对稳定^[18-20]。北方荒漠化地区的土壤水分随土层深度的变化规律与黄土丘陵沟壑区相似^[17]。

相对于黄土丘陵沟壑区和北方荒漠化区, 南方喀斯特区域自然降雨充足, 但土层浅薄, 石多土少, 多数山地露石广布, 土壤保水性能差^[21-23]。本研究通过对石漠化迹地及次生林对照样地的 0~1 000 mm 深度土层的土壤含水率进行连续测定, 揭示 0~1 000 mm 各土层含水率在一年中的变化规律并比对土层之间、石漠化与次生林之间的差异, 以期对喀斯特地

基金项目: 国家重点研发计划课题“断陷盆地石漠化区植被恢复与功能提升”(2016YFC0502504); 国家自然科学基金项目“喀斯特生态系统裸岩集水径流及其生态水文效应研究”(41671031)

第一作者简介: 何贝贝(1991-), 女, 硕士研究生, 主要从事喀斯特地区生态恢复及水文学研究。E-mail: hebeibei@xtbg.ac.cn.

通信作者: 沈有信, 男, 博士, 研究员, 主要从事退化生态系统的研究与恢复工作。E-mail: yxshen@xtbg.ac.cn.

收稿日期: 2017-02-26

区的生态恢复、土地利用和农业生产等方面提供科学依据。

1 研究区域概况

研究区位于云南省昆明市石林县(103°11′~103°29′E,24°38′~24°58′N),海拔 1 600~2 203 m,属于亚热带低纬度高原山地气候,干湿季差异明显。每年 5 月(多年平均降雨量约为 90 mm)进入雨季,降水量显著增加,7 月达到最大值(约为 200 mm),然后开始下降,10 月(多年平均降雨量约为 70 mm)雨季结束;11 月至次年 4 月为旱季,每月降雨量维持在 10~30 mm 之间^[24]。年均温度约 16 ℃,最热月是 7 月,最冷月是 1 月;年降水量 850 mm,雨季降雨量约占全年降雨量的 80%。石林县的喀斯特出露呈长约 30 km,宽约 10 km 的南北条带,面积超过 400 km²。本研究选取 2 类典型喀斯特生态系统进行对比研究:

(1)石漠化生态系统(Rock Desertification Ecosystem, RDE):位于一个峰丛漏斗状地貌的边坡,原生植被已经被破坏,为典型石漠化迹地,裸岩率高,植物群落内以白刺花(*Sophora davidii*)、火棘(*Pyracantha fortuneana*)、岩柿(*Diospyros dumetorum*)等低矮灌丛及草本物种为主,地面覆盖度低(5%),样地内石土比例约为 75%。

(2)次生林生态系统(Secondary Forest Ecosystem, SFE):位于一个低矮的溶丘之上,为当地彝族村庄的密枝山(神山),是植被偶有择伐的地带性半湿润常绿阔叶林,生物群落结构较为复杂^[2],以滇青冈(*Cyclobalanopsis glaucoides*)、清香木(*Pistacia weinmanniifolia*)为优势种,混有黄连木(*Pistacia chinensis*)、毛叶合欢(*Albizia mollis*)等落叶成分,林冠盖度达 75%,石体上附着多种低等植物种类。次生林样地石土比例约为 80%。

两样地距石林县气象站不远,具有相似的地貌特征,故选用石林气象站的降雨数据^[25]。研究样地各土层的土壤特性见表 1。

2 研究方法

在石漠化样地的边坡上选择弃耕地,顺坡向设置 7 条 30 m 的样带;沿次生林样地的溶丘坡向,设置 3 条 50 m 样带。每条样带上间隔约 10 m 选择适宜的

表 1 土壤容重和土壤有机质含量(平均值±标准误)
Table 1 Soil bulk density and organic matter content
(average±standard deviation)

采样深度/ mm	土壤容重/g·cm ⁻³		
	0~200	200~400	400~1 000
石漠化/g·cm ⁻³	1.13±0.04	1.28±0.03	1.21±0.04
次生林	0.84±0.08	0.96±0.13	1.19±0.03
采样深度/ mm	土壤有机质含量/g·kg ⁻¹		
	0~200	200~400	400~1000
石漠化/g·cm ⁻³	51.47±10.80	20.70±4.02	13.48±2.66
次生林	58.32±2.45	28.17±1.44	16.94±0.79

钻孔点,钻孔并埋设 1 m 深 PVC 探测管,石漠化样地成功安装 20 根探管,次生林样地共 14 根。当遇到基岩阻挡时重新选点,直至找到能安装 1 m 深的 PVC 探测管为止。在选定的含水率测定点,利用 PR2(PR2-UM-2.0,英国)传感器,每月下旬避开降雨时段测定 0~100 mm,100~200 mm,200~300 mm,300~400 mm,400~600 mm 及 600~1 000 mm 各土层深度的土壤含水率,每个测点重复测量 6 次并记录。观测期间,两样地各有一个测点被破坏。

运用 SPSS 和 Sigmaplot 软件对 2014 年 5 月至 2015 年 4 月的土壤含水率数据进行分析处理,并作图。

3 结果与分析

3.1 石漠化与次生林样地的土壤含水率差异

2014 年 5 月至 2015 年 4 月间,石漠化样地和次生林样地各土层的土壤水分均发生较大变化,统计显示,两样地的各月、各土层土壤含水率之间的差异均达到极显著水平,月份与土层对土壤含水率变化的交互效应也达到极显著水平(表 2)。

3.2 土壤含水率逐月动态变化特征

石漠化样地内,0~600 mm 各土层的土壤含水率的最大值均出现于 7 月,600~1 000 mm 土层最大值为 10 月;0~100 mm,100~200 mm 土层最小值为 12 月,200~300 mm,300~400 mm 土层最小值为 3 月,400~600 mm,600~1 000 mm 土层最小值出现在 5 月。各月土壤含水率的差异性在 0~100 mm 土层最高;100~200 mm 次之;其余土层的各月土壤含水率差异较小。雨季开始后(5 月),样地内土

表 2 石漠化及次生林土壤水分的月份、土层间差异显著性检验结果

Table 2 ANOVA results of soil moisture between months and depths in RDE and SFE

研究样地	因子	df	MS	F	P
石漠化生 态系统	土层深度	5	34 631.046	468.561	0
	月份	11	2 360.899	31.943	0
	土层深度 * 月份	55	195.297	2.642	0
次生林生 态系统	土层深度	5	10 088.010	198.767	0
	月份	11	2 078.575	40.955	0
	土层深度 * 月份	55	123.089	2.425	0

注:df—自由度,MS—方差,F—检验统计量,P—显著性。

壤含水率开始上升,但 0~100 mm,100~200 mm,200~300 mm 三个土层于 6 月发生波动性下降。7—9 月,土壤水分维持在较高水平,且变幅最小。9 月后,土壤含水率开始下降。10 月至次年 2 月土壤含水率处于较低水平,有明显升降起伏,变幅为一年中最大;次年 2 月后,土壤含水率开始回升(图 1)。

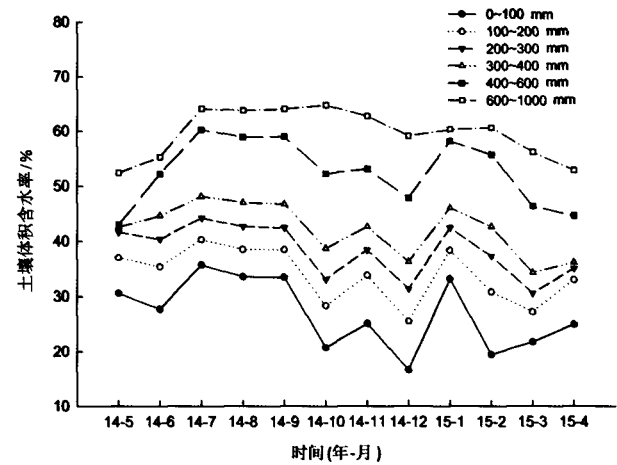


图 1 石漠化样地各月份土壤含水率

Fig. 1 Soil moisture determined in every month in RDE

次生林样地内,各土层土壤含水率最大值均出现在 7 月;0~100 mm,100~200 mm 及 200~300 mm 土层的最小值为 2 月,300~400 mm 和 400~600 mm 土层的最小值出现在 3 月,600~1 000 mm 土层的最小值出现在 5 月。各月土壤含水率在 0~100 mm 和 100~200 mm 土层的差异性较其余各土层大。5—7 月,各土层土壤含水率快速上升,并且各土层的含水率均在 6 月发生波动性下降。7 月后,土壤含水率开始缓慢下降。次年的 1 月有一个小的上升,然后再次下降,2 月后开始回升。5—8 月和 12—2 月

的土壤含水率有明显的起伏变化,变幅较大。

3.3 土壤含水率的垂直动态变化特征

2014 年 5 月至 2015 年 4 月,两样地的土壤含水率最大值、最小值,平均值均随土层深度的增加而增加,土层越深,土壤含水率越高,且各层均出现较高的标准差值和较高的变异系数(表 3)。

两样地内的土壤含水最大值均出现在 600~1 000 mm 土层。石漠化样地的最小值在 0~100 mm 土层;而次生林样地的最小值则出现在 100~200 mm 处。次生林样地的各层土壤含水率最大值、最小值和平均值均低于石漠化生境。除表层土(0~100 mm)外,次生林生境中各层土壤剖面的变异系数(Cv)均比石漠化生境高。其中,石漠化样地 Cv 呈减小—增大—减小的趋势,在 0~100 mm 处达到最大值;次生林样地则表现为增大—减小的趋势,在 100~200 mm 达到最大值。

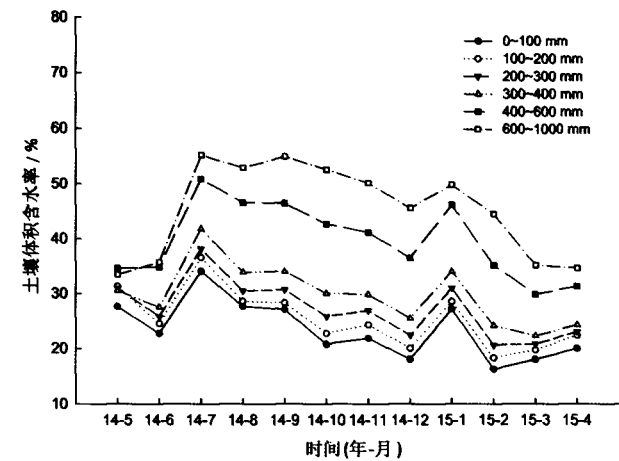


图 2 次生林样地各月份土壤含水率

Fig. 2 Soil moisture determined in every month in SFE

表 3 石漠化和次生林样地各土层深度的土壤含水率特征值
Table 3 Characteristic values of soil moisture for each soil depth of RDE and SFE

样地	深度 / mm	样点数 / 个	样本数 / 个	最大值 / %	最小值 / %	均值 / %	标准差 (SD) / %	变异系数 (C _v) / %
石漠化 RDE	0~100	19	1 362	40.82	11.95	26.85	8.49	32
	100~200	20	1 434	50.57	18.13	33.87	8.60	25
	200~300	20	1 434	53.42	15.75	38.28	10.43	27
	300~400	20	1 434	58.92	21.75	42.16	9.65	23
	400~600	20	1 434	69.93	23.65	52.67	11.63	22
	600~1000	20	1 434	74.67	28.32	59.73	9.66	16
次生林 SFE	0~100	13	864	40.65	11.20	23.41	6.38	27
	100~200	13	930	50.18	5.15	25.36	8.61	34
	200~300	14	1 002	50.88	8.40	27.15	8.88	33
	300~400	14	1 002	54.47	11.28	29.78	8.72	30
	400~600	14	1 002	61.37	15.95	39.67	10.59	27
	600~1 000	14	1 002	62.23	23.23	45.42	10.56	23

尽管土壤含水率随土层深度增加而增加的趋势没有变化,但在不同月份时,各土层间的土壤含水率变化趋势表现出一定的差异(图 3,图 4)。两类样地内,各月土壤含水率在 0~600 mm 以上土层匀速增高,此后增速下降;石漠化样地土壤含水率随土层剖面增加的趋势线更为平缓,增幅明显高于次生林样地。石漠化样地中,4、5、6 三月的土壤含水率与其他各月相比,在各土层间的变幅较小;次生林样地中,3、5、6 三月的土壤含水率在土层剖面的变化趋势大致相同,与其余各月相比增幅较小。

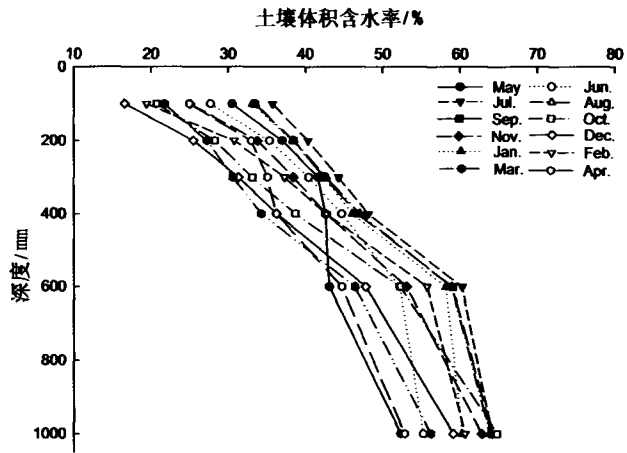


图 3 石漠化样地各月土壤含水率的剖面分布

Fig. 3 Profile of monthly soil moisture in RDE

注:图中标示的月份顺序为 2014 年 5 月—2015 年 4 月。

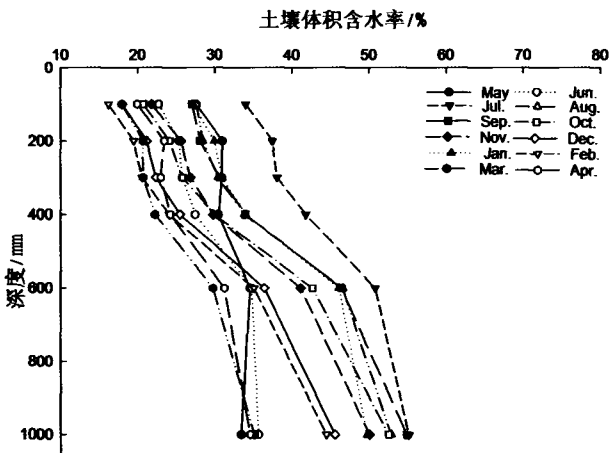


图 4 次生林样地各月土壤含水率的剖面分布

Fig. 4 Profile of monthly soil moisture in SFE

注:图中标示的月份顺序为 2014 年 5 月—2015 年 4 月。

4 讨论

2014 年 5 月至 2015 年 4 月,石漠化和次生林样地的 0~1 000 mm 各土层的土壤含水率均表现出月变化特征和垂直变化特征,在两类样地间也表现出明显的差异。

研究时段内的土壤含水率逐月发生变化,雨季(5—10 月)期间的各土层含水率明显高于旱季(11—次年 4 月)(图 1,图 2),显著地受到降雨影响。此规律与位于相同季风区的临近的贵州、广西的喀斯特

区^[6,26-27]相似。雨季较高的自然降水量补给,使石漠化样地和次生林样地的各土层土壤含水率开始上升或处于全年中的高位;10月后到次年的4月,随着降水减弱,各土层接受的降雨补给降低,土壤含水率则开始下降或处于全年的低位。而且由于降水补给受到周围露石分布不均匀的影响^[19],各测定点接受的露石再分配降水差异巨大,使得各测定点间的土壤水分波动幅度很大。

随土层深度的增加,土壤含水率也随之增加(图3,图4)。但这种增加的幅度在土壤深度达到600 mm后发生改变。马祥华^[18]、张北赢等^[19-20]对黄土丘陵区土壤含水率研究中,也发现了一个增幅变异节点,且这个节点也是600 mm。由此可初步得出结论,600 mm是剖面土壤含水率垂直变化的一个重要节点,600 mm以上时,土壤水分随深度的增加而快速增加,此后增速放缓。受降水补给^[16]、上覆植被的蒸发^[4,28]、土壤下渗^[4]等因素的影响,不同测量时间、地点的土壤含水率垂直变化幅度略有差异^[4,6,14-15]。研究时段内,两样地3、4、5、6月的土壤含水率随土层深度的变化趋势线与其它月份相比,会有所不同。

植被是影响土壤水分时空动态变化的重要因素。本研究结果显示,次生林样地各月各土层的含水率最大值、最小值、平均值皆比石漠化样地低(图1,图2,表3);配对比较结果显示,样地间各土层的土壤容重及有机质含量无明显差异,但各月各土层的土壤含水率均差异极显著($P < 0.001$)。晋西北高原区^[29]、陕西黄土丘陵区^[19]、及辽东山地森林区^[30]等非喀斯特区域的研究均表明,地表覆盖物能有效提高土壤含水率。喀斯特区域的某些研究结果也支持这种观点^[4,16,31-33]。但在桂西北喀斯特峰丛洼地^[12,34]、坡地^[26]的不同土地利用类型下的土壤水分对比结果显示,在植被根系发育土层内,牧草地、灌丛地的土壤含水量小于耕地、撂荒地,且变异程度大。笔者的研究结果展示的新的土壤含水率与上覆植被的关系,可从如下几个方面进行分析:1)与非喀斯特地区不同,研究样地内长期的喀斯特作用使得地下管网发育,无相对稳定的地下含水层,地表水分通过这些管网快速漏失^[10,26,35],任一时刻的土壤水分主要受到降水补给、土壤水漏失损失及植物消耗的影响;地表覆盖植被密度越大,耗水越多;此外,次生林样地内的冠层蒸腾失水量远大于石漠化样地^[1,36]。因此在相同的降雨条件下,次生林样地的土壤含水量消耗较石漠化样地

多。2)次生林样地内,植被冠层对雨水的截留作用明显^[21,37],林内土壤接受的降雨补给远比石漠化样地少;树干径流^[13]及地被枯落物^[4]的存在也会在一定程度上减少降雨到达地面的量。因此,任一时刻的土壤体积含水量($\theta_v = V_w/V_s \times 100$)中的 V_w 均表现为次生林样地小于石漠化样地,故次生林样地各月各土层的土壤含水率在研究时段内均小于石漠化样地。3)现有关于喀斯特地区土壤含水率的研究,大都采用烘干法测定其质量含水量^[4,16,31-33],而本文测定的是土壤体积含水量;石漠化样地的土壤遭受的干扰更为强烈,其土壤容重(ρ)较次生林样地大^[38](表1)因此在测定时段内,当质量含水量相同或相近时,其体积含水量($\theta_v = \theta_m \times \rho$)高于次生林样地。

植被的根系分布影响土壤含水率在土层间的变化规律^[19]。相关喀斯特灌丛^[4-5,10,31]、退耕地^[10,39]、次生林^[4,8,31,14]及阔叶林^[5,33]生境系统的研究大都表明,在研究时段内的变异最大的土层均为0~100 mm。但本研究表明,石漠化样地中0~100 mm土层土壤含水率在一年中的变异系数最大;次生林样地为100~200 mm及200~300 mm土层土壤含水率变异系数最大。说明在喀斯特地区,剖面土壤含水率的变化也与上覆植被的根系发育层相关^[20]。石漠化样地中,多为低矮灌丛及草本植被,根系分布较浅,多消耗表层土壤水分^[4,6],因此各月土壤含水率在土层剖面上的变化趋势平缓,且增幅较大。次生林样地内,植被群落结构丰富,对各层土壤水分均有所消耗^[19,31,40],因此,各月土壤含水率随土层增加,其波动幅度较大,且增幅较石漠化样地小。

5 结 论

(1) 石漠化样地0~1 000 mm各土层的土壤含水率在测定时间范围内均显著高于次生林样地,植被对土壤含水率的影响并不与非喀斯特区域相同。

(2) 两样地的各层土壤含水量均在雨季初期上升,然后维持在全年的较高水平,且变幅较小;雨季过后,土壤含水率开始波动性升降,处于全年较低水平。石漠化样地中,0~100 mm土层各月的土壤含水率在一年中波动最大,次生林样地则为100~200 mm土层各月的土壤含水率波动最大。

(3) 石漠化和次生林内土壤含水率随土层深度增加而增加,各土层间均差异显著,600 mm是土壤

含水率变化的一个重要节点,超过此深度后土壤含水率的变化趋缓。

参考文献

- [1] Yang J, Chen H S, Nie Y P, et al. Spatial variability of shallow soil moisture and its stable isotope values on a karst hillslope [J]. *Geoderma*, 2016, 264: 61-70.
- [2] 王玉娟, 杨胜天, 温志群, 等. 贵州典型喀斯特灌丛草坡类型区土壤水分及其影响因子研究[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2008, 44(5): 529-532.
- [3] 沈有信, 刘文耀, 李玉辉, 等. 滇中喀斯特山地半湿润常绿阔叶林的群落生态学研究[J]. *广西植物*, 2005, 25(4): 321-326.
- [4] 杜雪莲, 王世杰. 喀斯特高原区土壤水分的时空变异分析: 以贵州清镇王家寨小流域为例[J]. *地球与环境*, 2008, 36(3): 193-201.
- [5] 何永彬, 张信宝, 王安邦. 西南喀斯特山地的土壤侵蚀研究探讨[J]. *生态环境学报*, 2009, 18(6): 2393-2398.
- [6] 张川, 陈洪松, 聂云鹏, 等. 喀斯特地区洼地剖面土壤含水率的动态变化规律[J]. *中国生态农业学报*, 2013, 21(10): 1225-1232.
- [7] Gargiulo L, Mele G, Terribile F. The role of rock fragments in crack and soil structure development: a laboratory experiment with a vertisol[J]. *European Journal of Soil Science*, 2015, 66(4): 757-766.
- [8] Zhang J G, Chen H S, Su Y R. Spatial variability of surface soil Moisture in a depression area of karst region[J]. *Clean-Soil Air Water*, 2011, 39(7): 619-625.
- [9] Chen H S, Zhang W, Wang K L. Soil moisture dynamics under different land uses on karst hillslope in northwest Guangxi, China [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2010, 61(6): 1105-1111.
- [10] 张继光, 陈洪松, 苏以荣, 等. 喀斯特山区洼地表层土壤水分的时空变异[J]. *生态学报*, 2008, 28(12): 6334-6343.
- [11] 张笑楠, 王克林, 张伟, 等. 桂西北喀斯特峰丛洼地坡面土地利用对土壤水分的影响[J]. *土壤通报*, 2009, 40(6): 1250-1254.
- [12] 张继光, 苏以荣, 陈洪松, 等. 典型喀斯特峰丛洼地土壤水分时空动态研究[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(4): 1432-1437.
- [13] 杨瑞, 喻理飞, 戴全厚. 喀斯特区云南鼠刺树干液流及土壤水分动态[J]. *水土保持通报*, 2015, 35(2): 89-93.
- [14] 张志才, 陈喜, 石朋, 等. 贵州喀斯特峰丛山体土壤水分分布特征及其影响因素[J]. *长江流域资源与环境*, 2008, 17(5): 803-807.
- [15] 李安定, 卢永飞, 韦小丽, 等. 花江喀斯特峡谷地区不同小生境土壤水分的动态研究[J]. *中国岩溶*, 2008, 27(1): 56-62.
- [16] 范新瑞, 苏维词, 鄢贵权, 等. 黔中典型喀斯特地区土壤水分时空特性分析[J]. *中国岩溶*, 2009, 28(1): 69-73.
- [17] 王兵, 崔向惠, 白秀兰, 等. 荒漠化地区土壤水分时空格局及其动态规律研究[J]. *林业科学研究*, 2002, (2): 143-149.
- [18] 马祥华, 白文娟, 焦菊英, 等. 黄土丘陵沟壑区退耕地植被恢复中的土壤水分变化研究[J]. *水土保持通报*, 2004, 24(5): 19-23.
- [19] 张北赢, 徐学选, 刘江华. 黄土丘陵沟壑区不同土地利用方式的土壤水分效应[J]. *水土保持通报*, 2005, 25(6): 5-9.
- [20] 张北赢, 徐学选, 白晓华. 黄土丘陵区不同土地利用方式下土壤水分分析[J]. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(2): 96-99.
- [21] 邵晓贵, 杨瑞. 喀斯特地区不同覆盖下土壤水分变化模拟研究[J]. *水土保持通报*, 2011, 31(5): 250-253.
- [22] 国家林业局, 中国石漠化状况公报[N], 中国绿色时报, 2012.
- [23] 国家林业局, LY/T 1840-2009. 喀斯特石漠化地区植被恢复技术规程[S]. 2009.
- [24] 陆燕梅, 徐炳光, 沈有信. 云南石林地区喀斯特山地萌生团花新木姜子年轮特征与环境因子的关系[J]. *广西植物*, 2014, 34(2): 276-280, 219.
- [25] Wang D J, Shen Y X, Huang J, et al. Rock outcrops redistribute water to nearby soil patches in karst landscapes[J]. *Environment Science and Pollution Research*, 2016, 23(9): 8610-8616.
- [26] 傅伟, 陈洪松, 王克林. 喀斯特坡地不同土地利用类型土壤水分差异性研究[J]. *中国生态农业学报*, 2007, 15(5): 59-62.
- [27] 徐慧芳, 宋同清, 黄国勤, 等. 喀斯特峰丛洼地地区坡地不同土地利用方式下土壤水分的时空变异特征[J]. *生态学报*, 2014, 34(18): 5311-5319.
- [28] 王家文, 周跃, 肖本秀, 等. 中国西南喀斯特土壤水分特征研究进展[J]. *中国水土保持*, 2013(2): 37-41, 69.
- [29] 李洪建, 王孟本, 柴宝峰. 晋西北人工林土壤水分特点与降水关系研究[J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1998, 4(4): 60-65.
- [30] 吴祥云, 刘梦旅, 任杰, 等. 辽东山地森林景观界面土壤水分变异特征研究[J]. *北京林业大学学报*, 2015, 37(4): 56-63.
- [31] 付同刚, 陈洪松, 张伟, 等. 喀斯特小流域土壤含水率空间异质性及影响因素[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(14): 124-131.
- [32] 宋同清, 彭晚霞, 曾馥平, 等. 喀斯特峰丛洼地不同植被类型土壤水分的空间异质性分析: 以广西环江毛南族自治县西南峰丛洼地地区为例[J]. *中国岩溶*, 2010, 29(1): 6-11.
- [33] 刘廷惠, 崔迎春. 喀斯特山地森林土壤水分动态变化研究[J]. *中国高校科技与产业化: 学术版*, 2006(S1): 229-233.
- [34] 张继光, 苏以荣, 陈洪松, 等. 桂西北喀斯特区域土壤水分动态变化研究[J]. *水土保持通报*, 2007, 27(5): 32-36.
- [35] 陈洪松, 王克林. 西南喀斯特山区土壤水分研究[J]. *农业现代化研究*, 2008, 29(6): 734-738.
- [36] 侯喜禄, 白岗松, 曹清玉. 黄土丘陵区湾塌地乔灌木土壤水分动态监测[J]. *水土保持研究*, 1996, 3(2): 57-65.
- [37] 奚如春, 马履一, 王瑞辉, 等. 林木耗水调控机理研究进展[J]. *生态学杂志*, 2006, 25(6): 692-697.
- [38] 曹文侠, 徐长林, 张德翌, 等. 杜鹃灌丛草地土壤容重与水分特征对不同休牧模式的响应[J]. *草业学报*, 2011, 20(3): 28-35.
- [39] Zhang D F, Wang S J, Zhou D Q, et al. Intrinsic driving mechanism of land rocky desertification in karst regions of Guizhou Province[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2001(21): 1-5.
- [40] 张继光, 陈洪松, 苏以荣, 等. 喀斯特山区坡面土壤水分变异特征及其与环境因子的关系[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(9): 87-93.
- [41] 程燕芳, 王嘉学, 许路艳, 等. 云南高原喀斯特山原红壤退化中的表层土壤水分变异[J]. *江苏农业科学*, 2015, 43(11): 433-437.

Comparison of spatio-temporal variations of soil moisture in rock desertification and secondary forest areas of Shilin, Yunnan

HE Beibei¹, SHEN Youxin¹, ZHU Xi'ai¹, LIU Zhiyong²

(1. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming, Yunnan 650223, China;

2. Municipal Landscape Management Bureau, Yiliang, Yunnan 652100, China)

Abstract Soil moisture is key to vegetation development and ecological restoration. The temporal and spatial variations of soil moisture are mainly affected by rainfall and vegetation, which is particularly significant in karst areas. The PR2 sensor was used to measure the Soil Moisture Content (SMC) of two typical soils at the depth of 0–1,000 mm on a monthly basis, with the case in the Rock Desertification Ecosystem (RDE) and Secondary Forest Ecosystem (SFE) in Shilin, Yunnan Province, China. The results show that the SMC of the RDE is significantly higher than that of the SFE during the study period, which is completely different from non-karst regions. The SMCs of both monitoring sites show considerably monthly difference, which fluctuates along with monthly weather and rainfall. Furthermore, the SMC increases with the depth at a soil profile; and it increases the most at the depth from 400 to 600 mm. Below 600 mm deep, the SMC gradually declines.

Key words karst ecosystem, soil moisture content, time series, vertical change of soil, vegetation influence

(编辑 张玲)

· 新书简讯 ·

《云南省岩溶水文地质环境地质调查与研究》专著出版发行

由王宇、张贵、张华等编著的《云南省岩溶水文地质环境地质调查与研究》一书于 2018 年 6 月由地质出版社出版发行。

专著以地球系统科学理论为指导,应用水文地质、工程地质、环境地质学的分析方法,通过历史和宏观层面上的统计分析、典型点解剖、流域评价,从全省岩溶水文地质及环境地质特征、调查区地质环境条件、水文地质及地下水资源评价、重大环境地质问题及防治措施、岩溶地下水开发利用示范五个方面,对 1999 年至 2014 年云南省水文地质环境地质调查与研究成果进行了全面的总结。该书系统论述了高原岩溶石山地区的水文地质及环境地质条件,深化了对岩溶发育规律的认识,归纳总结了地下水富集规律,提出了新的岩溶水源地分类方案,评价了岩溶水开发技术条件,重新评价了地下水资源;厘清了重大环境地质问题,系统掌握了各类重大环境地质问题的基本特征和危害程度,提出了防治措施与建议;总结了岩溶水开发利用示范成果,重点对创新性工程和流域示范进行了分析评价,建立了岩溶水科学开发利用的模式,集成了岩溶水有效勘查开发利用方案。这一成果集成大大丰富了水文地质环境地质基础数据,提高了高原岩溶水文地质环境地质研究程度和科技水平,为经济社会发展、生态文明建设、资源开发与保护、防灾减灾、教学科研提供了科学依据及丰富的资料。