

文章编号: 1672-9250(2008)03-0193-09

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

杜雪莲^{1,2}, 王世杰^{1*}

(1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:以贵州喀斯特高原区王家寨峰丛洼地小流域为研究对象,于2005年11月至2006年12月测定了小流域内不同植被的土壤水分年变化,探讨不同植被类型峰丛坡面土壤水分的时空变化规律,并且与同属小流域内的非喀斯特土山进行对比研究。结果表明:各种植被类型的土壤水分年变化趋势大致相同,主要受降雨和蒸散过程的影响,但变化幅度存在差异,次生林和灌木灌丛变化幅度大于非喀斯特土山和稀疏灌草丛。雨后连续晴天各植被土壤水分变化幅度呈相同格局。观测期内土壤水分的动态变化具有明显的季节性,划分为4个阶段:冬季平稳低墒期、春季及夏初蓄水期、夏季及秋初消耗期及秋季及冬初回升期。各植被土壤剖面水分存在差异,次生林、灌木灌丛坡面土壤剖面含水量从表层到深层表现为降低型,稀疏灌草丛、非喀斯特土山则为增加型。同一坡面不同坡位间土壤水分差异不显著,反映了喀斯特地区复杂多变的小生境和其独特的二元结构水文系统。

关键词:喀斯特; 土壤水分; 时空变异

中图分类号: P593; X171.1

文献标识码: A

中国西南喀斯特地区拥有特殊的二元结构水文系统,使大气降水容易经陡坡、岩石裂隙和落水洞转入地下暗河,或者流动在深切的峡谷之中,形成“土在上水在下”的分离格局,临时性干旱频繁^[1]。土壤浅薄、不连续、涵养水源能力低,加之碳酸盐类基岩存在较多的裂隙漏水现象,使该区植物普遍遭受水分胁迫。近年来,开始有研究者对喀斯特区的土壤水分进行相关研究。朱守谦等^[2]、高华瑞等^[3]分别研究了乌江流域喀斯特石质山地水分特征、不同类型碳酸盐岩坡面的土壤水分特征。张伟等^[4]、张继光等^[5]及陈洪松等^[6]分别对桂西北典型喀斯特峰丛洼地的旱季表层土壤水分空间变异性、坡面土壤水分的

空间变异特征及不同利用方式下坡面、洼地土壤水分的动态变化规律进行了研究。王腴等^[7]研究了花江峡谷区不同土地利用方式土壤水分的时空分布特征。但关于喀斯特区植被退化过程中土壤水分变化规律的研究尚不够系统深入。

本文以贵州喀斯特高原区王家寨峰丛洼地小流域为研究对象,探讨流域内不同植被类型峰丛坡面土壤水分的时空变化规律,并且与同属小流域内的非喀斯特土山进行对比研究,以期为保护和恢复喀斯特地区自然生态系统提供理论依据。

1 研究区域概况与研究方法

1.1 研究区域概况

试验地设在喀斯特高原区清镇市簸箩村王家寨小流域,东经 $106^{\circ}20'5'' \sim 106^{\circ}21'8''$,北纬 $26^{\circ}31'45'' \sim 26^{\circ}30'27''$,面积约 2.4 km^2 ,该区岩性较均一,为 T_2g 关岭组的灰质白云岩,地貌为典型喀斯特峰丛谷地,峰丛与谷地的面积比为 $1.65:1$ 。海拔最高

收稿日期: 2007-12-25; 修回日期: 2008-03-17

基金项目: 中国科学院知识创新工程方向性项目(kzcx2-yw-306); 科技支黔项目

第一作者简介: 杜雪莲(1981-),女,博士生,研究方向为生物地球化学及岩溶生态。E-mail: duxuelian520@163.com

*通讯作者: E-mail: wangshijie@vip.skleg.cn

点 1451.1 m, 最低点 1 275 m, 属亚热带季风湿润气候, 年均温 14 °C, 极端最低温 -5 °C, 极端最高温 35 °C, 年总积温 4 700 °C, 年辐射量 361.2 kJ/cm², 年降雨量 1 200 mm, 雨热同季, 降雨集中在 5—7 月份, 小流域内喀斯特地表渗漏强烈, 加上人类的长期破坏造成植被覆盖率较低。土地利用类型坝地中以耕地为主; 峰丛上以灌木林和草地为主, 乔木主要为村寨风水林。土壤类型为石灰土、黄壤、水稻土等。

1.2 研究方法

样地设于清镇市簸箩村王家寨小流域内不同峰丛坡面上, 选择植被不同退化阶段的次生林、灌木灌丛、以及稀疏灌草丛 3 种主要植被类型。在稀疏灌草丛, 灌木灌丛坡面典型地段随机拉一条从坡顶至坡底的样线, 在每条样线上每隔约 10 m 设置一个约 5 m × 5 m 样方, 以分析土壤水分沿坡面的

分布规律。由于次生林山坡高差较小, 样地面积需求较大(20 m × 20 m), 无法按坡位变化设置样地, 只在坡面典型位置设置 1 个样地进行采样。同时, 在位于该小流域东南面的风化壳土山的典型位置设置一个 10 m × 20 m 的样方, 用于对比喀斯特区石灰土与风化壳黄壤土壤水分的动态变化。土壤水分采用烘干法(105 °C, 8 ~ 10 h)测定, 观测时间为 2005 年 11 月至 2006 年 12 月, 每旬测定一次, 于每个样地测定 3 个剖面, 所有植被类型测定深度均为 0—40 cm, 分为 0—10 cm, 10—20 cm, 20—30 cm, 30—40 cm。土壤容重用环刀分层(10 cm)取样测定, 每层 3 个重复。在每个样方内选取 5—8 个样点, 分别采集 8 块样地坡面表层土壤(0—20 cm)混合样品。按常规方法测定土壤有机质、机械组成、pH 值等。降雨量采用自记雨量计测定。表 1 为试验样地基本情况及表层(0—20 cm)土壤的基本理化性质。

表 1 研究样地概况及土壤基本理化性质

Table 1. The basic features of sample plots and surface soil properties

样地	植被类型	有机质(%)	密度/(g/cm ³)	比重/(g/cm ³)	粘粒(%)	pH	土厚/cm	坡位
01	稀疏灌草丛	4.48	1.42	2.62	24.66	6.6	> 50cm	上
02	稀疏灌草丛	4.58	1.24	2.64	37.9	6.81	> 50cm	中
03	稀疏灌草丛	5.05	1.35	2.64	34.77	6.75	> 50cm	下
19	灌木灌丛	24.9	0.98	2.43	24.08	7.86	50cm	上
20	灌木灌丛	27.4	1.07	2.25	24.58	7.77	50cm	中
21	灌木灌丛	24.1	1.1	2.42	20.53	7.65	60cm	下
26	次生林	22.1	1.0	2.33	24.59	7.55	50cm	中
27	灌木灌丛(非喀)	4.84	1.61	2.64	36.72	5	> 200cm	中

2 结果与分析

2.1 土壤水分时间动态变化特征

2.1.1 整体变化趋势

观测期内, 试验区降雨 721 mm, 正常年份年均降雨量为 1 200 mm, 观测年份属欠水年。其中有效降雨 19 次, 仅 396.6 mm, 主要发生在雨季。但是, 雨季表层土壤含水量并没有因降雨量的增加而急剧增大。这与同期高温土壤蒸发及植物蒸腾作用较强有关。各种植被类型的土壤水分的动态变化主要受降雨(尤其是 > 10mm 的有效降雨)和蒸散过程的影响, 两者变化趋势基本吻合(图 1、图 2), 观测期内土壤水分的动态变化具有明显的季节性, 划分为以下 4 个阶段:

(1) 冬季低墒期(05 年 11 月至 06 年 2 月中旬)。这一阶段除少数常绿种外, 多数植物进入休眠, 耗水很少, 但由于冬季降雨极少, 该阶段降雨仅 52.68mm, 是正常年份的 60%(1995 到 2004 年该阶段降雨量均值为 90.69mm), 其中仅 11 月 14 日有一场有效降雨, 此后基本无雨, 土壤水分持续低水平含量。

(2) 春季及夏初蓄水期(06 年 2 月下旬至 6 月)。这一阶段植物逐渐复苏并进入生长初期, 降雨逐渐增多, 该阶段降雨量达 370.8mm, 是正常年份的 70%(1995 到 2004 年该阶段降雨量均值为 550.14 mm), 其中有效降雨达 14 次。2 月的一场雨使各样地土壤水分迅速升高。由于该阶段植物尚未进入生长旺季, 蒸腾耗水相对较低, 土壤水分维持在一个相对高水平含量。但期间仍不乏临时

性干旱。如4月连续10多天无降雨使土壤含水量尤其是次生林的土壤含水量急剧降低。

(3)夏季及秋初消耗期(06年7月到9月)。这一时期气温升高,期间降雨量达214.8mm,较往年偏少50%以上(1995到2004年该阶段降雨量均值为478.26mm),其中有效降雨仅6次,由于植物进入生长盛期,蒸发散大,因此土壤含水量出现一个大幅下降过程。且临时性干旱频繁发生。如8月连续9天无雨使土壤含水量在8月15日达最低值。

(4)秋季及冬初回升期(06年10月至12月)。这一阶段气温降低,植物逐渐进入休眠期,蒸发散小。再加上有一定的降雨,土壤含水量有一定增加幅度。

虽然不同植被的变化趋势大致相同,但变化幅度存在差异,观测期内次生林和灌木灌丛变化幅度大于非喀斯特土山和稀疏灌草丛的变化幅度(图2),这跟植被类型、土层厚度、土壤类型等因素有关。结合图1降雨数据分析发现雨后灌木灌丛和次生林土壤水分总是高于稀疏灌草丛和非喀斯特土山,而连续几天无雨后灌木灌丛和次生林土壤水分总是低于稀疏灌草丛和非喀斯特土山,体现了喀斯特地区降雨后浅薄土层水分含量增加快、损失也快的特征。也就是说喀斯特坡面浅薄的石灰土对降雨的缓冲能力弱,容易出现暴涨暴落的情况。如2月14日的降雨使灌木灌丛和次生林土壤水分明显高于稀疏灌草丛和非喀斯特土山。这是因为灌木灌丛和次生林枯枝落叶等归还量大,土壤为黑色石灰土,由表1可知其土壤有机质含量高,吸水性好,而稀疏灌草丛和非喀斯特土山土壤分别为黄色石灰土和黄壤,质地较粘,有机质较低,吸水性较差。喀斯特地区临时性干旱频繁,如该小流域4月连续10多天无降雨使各植被土壤水分急剧降低,而灌木灌丛和次生林土壤水分的降低程度较稀疏灌草丛和非喀斯特土山更为剧烈,这是由于其浅薄土层保水和持水性能差造成的。这与前人的研究结果一致。朱守谦等研究表明各类石灰土的土壤有效水最多只能维持7—14天³。自然含水量情况下,土壤含水量未达到田间持水量时,只能维持5—10天。在连续晴天条件下,土壤含水量呈线性下降,薄土的下幅大于厚土。由于植株矮小、数量稀少,稀疏灌草丛的土壤水分消耗主要来自土面蒸发,故其降低幅度稍小,并且其较厚的土层对保持水分也非常有益。非喀斯特土山则由于其土层深厚土壤

保水性好,其水分降低的幅度最小。

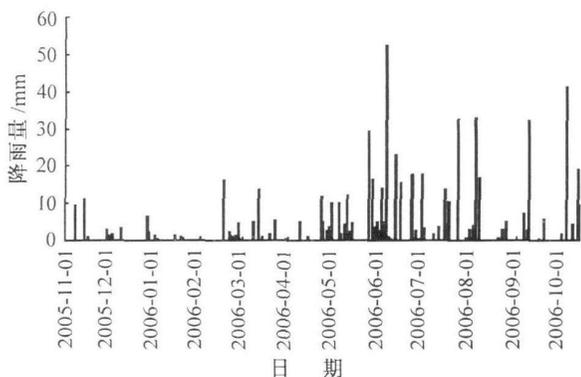


图1 小流域降雨量季节变化

Fig. 1. Temporal variation of precipitation in the catchment.

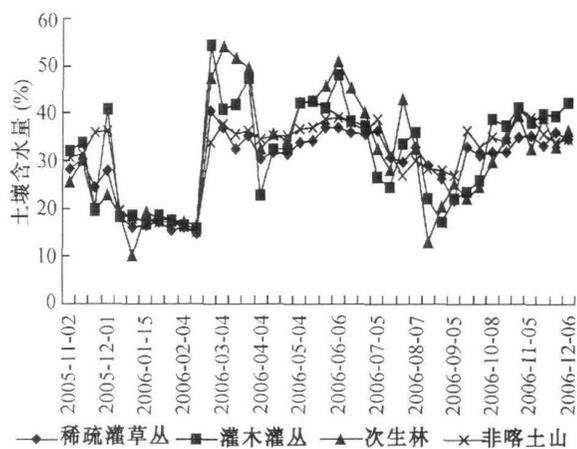


图2 小流域各植被土壤水分平均值季节变化

Fig. 2. Seasonal variation of mean soil moisture contents in different kinds of vegetation.

2.1.2 不同阶段各植被土壤水分特征

比较上述4个阶段各植被的平均土壤含水量,其顺序为:春季及夏初蓄水期>秋季及冬初回升期>夏季及秋初消耗期>冬季平稳低摘期(表2)。

在冬季平稳低摘期,由于植物进入休眠期,加上降雨稀少,土壤水分含量达到最低值,方差分析结果表明各植被土壤含水量无显著性差异。

进入春季及夏初蓄水期,由于降雨增多,植物又尚未进入生长旺盛期,各植被土壤水分大幅回升。这一阶段各植被土壤含水量从高到低依次为次生林、灌木灌丛、非喀斯特土山、稀疏灌草丛。这跟各植被类型的土壤性质有关。次生林和灌木灌丛由于其土壤有机质含量高,吸水性能好,而稀疏灌草丛和非喀斯特土山土壤有机质含量较低,水分含量较低。方差分析结果表明各植被土壤含水量在这一阶段呈显著性差异。其中稀疏灌草丛、非喀

斯特土山土壤含水量与次生林土壤含水量呈显著性差异,其余无显著性差异。

到了夏季及秋初消耗期,植物进入生长旺季,但期间降雨量大大低于正常年份,干旱严重,这一阶段各植被土壤含水量从高到低的顺序为非喀斯特土山、稀疏灌草丛、次生林、灌木灌丛。次生林植被冠层大,蒸腾耗水量大,30—40 cm 土层水分含量一度达到极低值。灌木灌丛虽然植被冠层蒸腾耗水稍小,但是高温季节土壤水分蒸发量比次生林大。因此,次生林和灌木灌丛水分含量相当,均较

低。稀疏灌草丛由于植被稀少,且植株矮小,植物耗水量少,故其水分含量高于次生林和灌木灌丛。非喀斯特土山水分含量最高,达到 31.79%,这同样源自其深厚的土层调节土壤水分能力强。方差分析结果表明各植被土壤含水量在这一阶段呈显著性差异。次生林、灌木灌丛土壤含水量与非喀斯特土山土壤含水量呈显著性差异,其余无显著差异。

进入秋季至冬初,植物逐渐停止生长,植物耗水量少,加上有适量降雨,各植被土壤水分含量均有不同程度的回升,但差异不显著。

表 2 不同阶段各植被土壤水分含量

Table 2. Seasonal variation of mean soil moisture contents in different vegetation

不同阶段	稀疏灌草丛	灌木灌丛	次生林	非喀斯特土山
冬季平穩低摘期	20.48±6.11a	21.51±8.13a	18.48±5.18a	22.73±8.44a
春季及夏初蓄水期	35.12±2.76a	39.21±7.66ab	43.04±6.92b	36.88±1.49a
夏季及秋初消耗期	30.32±4.15ab	24.69±5.53a	25.17±8.59a	31.26±4.27b
秋季及冬初回升期	34.11±1.88a	37.78±1.21a	32.52±3.53a	35.68±3.14a

注:同一行不同字母表示 5%水平上差异显著。

2.2 土壤水分剖面变化特征

2.2.1 不同植被类型土壤剖面水分动态特征

降水下行入渗和土壤蒸腾、蒸发的双向作用形成了土壤剖面的水分梯度⁸。植被类型、生长状况、根系分布深度及密度的差异,带来土壤蒸发和植被蒸腾的不同,由此引起的土壤干燥化程度和土壤水分分布的不同⁹。

研究区各植被土壤水分剖面动态特征见图 3:观测期内次生林和灌木灌丛的土壤含水量基本呈现出上高下低的格局。方差分析表明:灌木灌丛剖面土壤水分存在显著差异($p < 0.05$),次生林剖面水分也存在显著差异($p < 0.05$)。这是因为土壤浅薄,生长良好的乔、灌木带来的强烈蒸腾导致深层储水因补充调节植物需水大量减少。次生林由于植被冠层大,植物根系深,其深层土壤水分消耗较灌木灌丛更大。连续晴天后这种格局将加剧。如在 8 月植物生长旺季,由于连续几天无雨,次生林 30—40 cm 层次土壤水分达到极低值。

稀疏灌草丛土壤剖面土壤含水量整体较低。观测期内土壤含水量基本呈现出上低下高的格局,但各层间无显著性差异($p > 0.05$)。表层土壤由于直接裸露,蒸发强烈,导致其水分含量低于深层土壤,只在冬春降雨后,由于少量降雨只能湿润表层

土壤,故表层水分含量高于深层土壤。非喀斯特土山植物群落剖面土层水分含量格局特征类似于稀疏灌草丛,观测期内基本呈上低下高的格局,剖面各层土壤含水量也无显著性差异($p > 0.05$)。但其土壤含水量比稀疏灌草丛高,这是由于非喀斯特土山样地土层深厚,调节水分能力强。这种和谐的水、土、植被的优化配置奠定了非喀斯特土山植物群落的稳定性。

2.2.2 不同植被相同土壤层次水分含量差异

植被对土壤水分的差异性利用使得土壤平均水分含量以及水分剖面分层存在差异。各层土壤水分变异系数的垂直变化也因植被类型的不同而存在差异¹⁰。一般来说,剖面土壤水分低湿层与植物根系活跃层是一致的⁸。

由表 3 可知:0—10 cm、10—20 cm 土层次生林、灌木灌丛的土壤含水量及其变异系数均高于稀疏灌草丛,除了因为次生林和灌木灌丛的土壤有机质高吸水性好外,林冠的遮挡也使表层土壤蒸发较低,故其表层土壤水分含量高于植株稀少的稀疏灌草丛。但是由于次生林坡面和灌木灌丛坡面土层较稀疏灌草丛坡面更为浅薄,土壤持水保水性能差,连续晴天后土壤水分迅速降低,故土壤水分变异系数高。稀疏灌草丛土面近似于裸地,表层

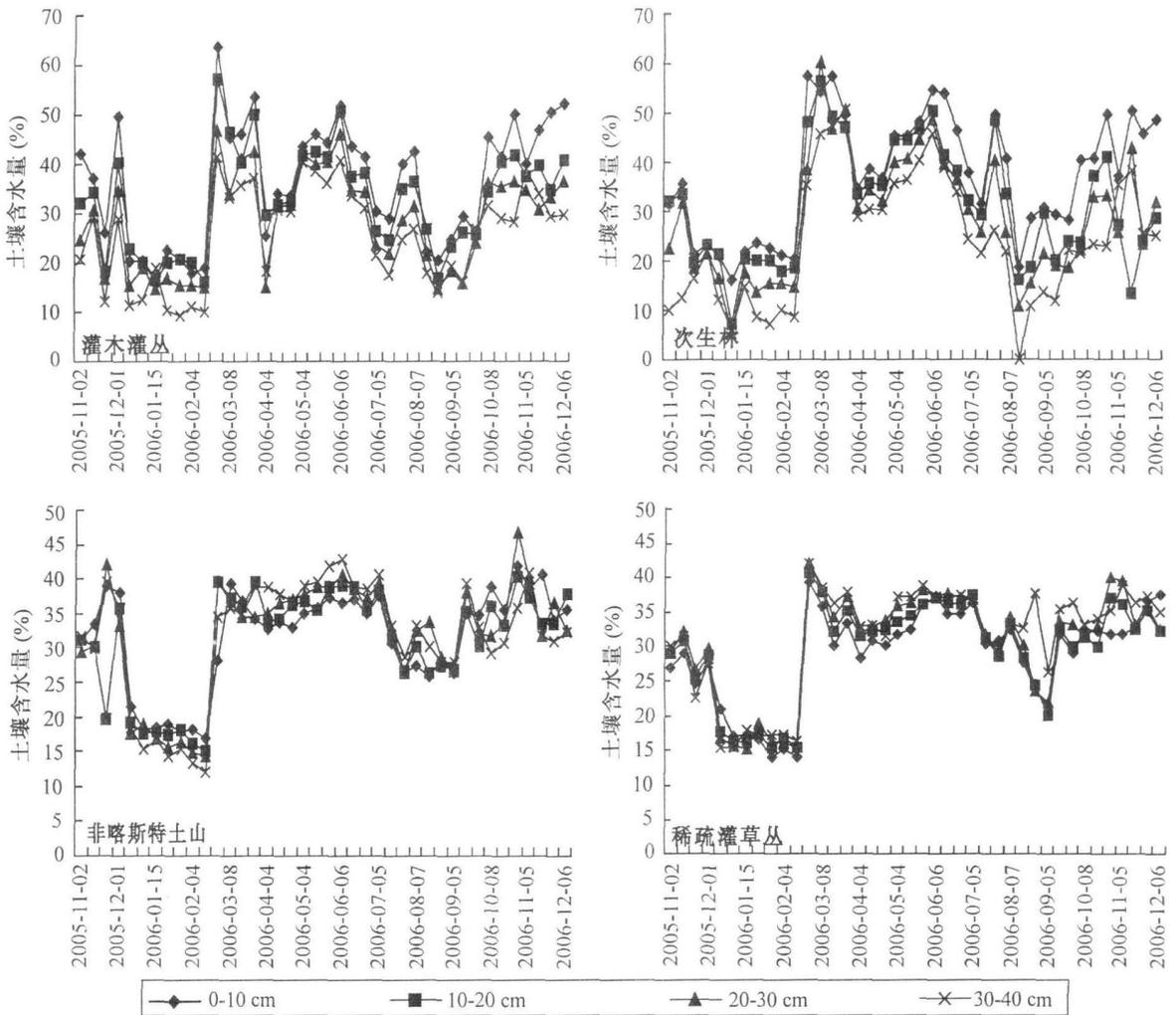


图 3 各植被土壤水分剖面变化

Fig. 3. Vertical variation of soil moisture in the profile under various kinds of vegetation.

0—20 cm 土壤由于蒸发强烈导致该层土壤水分含量持续维持在低水平, 但是其较厚的土层对调节土壤水分有益, 该层土壤水分变异系数较小。非喀斯特土山表层土壤水分也较次生林和灌木灌丛低, 但是其厚达数米的深厚土层有利于保持水分, 其表层土壤含水量水分变异系数最小。

20—30 cm、30—40 cm 正好相反, 次生林、灌木灌丛该层土壤含水量低于稀疏灌草丛, 其变异系数

高于稀疏灌草丛。这一方面体现了喀斯特区乔、灌木的深层耗水量大, 同时也表明了喀斯特区浅薄土层的持水能力弱, 水分容易沿岩土界面流失。稀疏灌草丛的植株只有较浅的根系和较小的冠层, 其对 20—40 cm 土层水分的蒸腾消耗较小, 所以该层土壤水分含量较高且变异系数小。非喀斯特土山该层土壤水分含量最高, 变异系数小, 这同样是由于其深厚的土层调节水分能力强, 保水性好。

表 3 各植被土壤水分剖面差异

Table 3. Differences in soil moisture profile under various kinds of vegetation

样地类型	0—10 cm		10—20 cm		20—30 cm		30—40 cm	
	含水量 (%)	变异系数	含水量 (%)	变异系数	含水量 (%)	变异系数	含水量 (%)	变异系数
次生林	37.21	0.33	31.31	0.39	28.9	0.43	24.28	0.53
灌木灌丛	36.34	0.34	32.79	0.32	28.51	0.35	25.66	0.38
稀疏灌草丛	28.62	0.24	29.33	0.25	30.3	0.26	31.09	0.25
非喀斯特土山	31.54	0.23	31.03	0.25	31.91	0.26	31.58	0.28

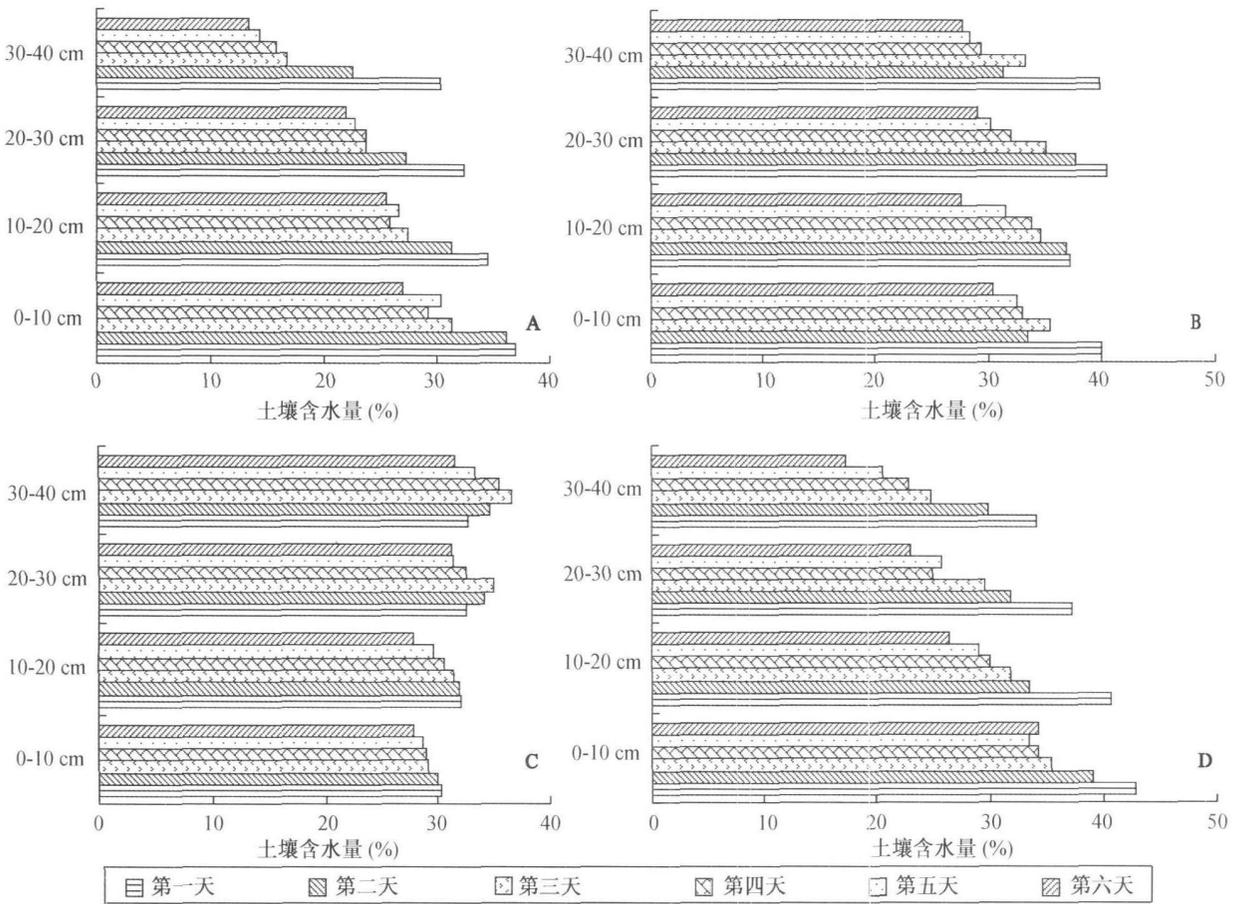
2.2.3 雨后连续晴天各植被土壤剖面含水量变化格局

图4为2006年9月8日一场32 mm降雨后连续6天内各植被土壤剖面含水量的变化情况。从图中可看出,雨后第一天各植被表层土壤含水量均最高。次生林表层土壤含水量最高,稀疏灌草丛表层土壤含水量最低,这同样与各植被土壤性质有关。

由于9月仍为植物生长期,次生林、灌木灌丛及非喀斯特土山由于植被状态较好耗水量大,所以雨后连续晴天土壤各层含水量均持续降低,稀疏灌草丛0—20 cm 土层含水量也呈相同格局,但20—40

cm 土层先升高后降低。这是由于稀疏灌草丛多为裸地,植被稀少、植株矮小,20—40 cm 土层先升高是由于表层水分逐渐下渗,从第四天开始下降是强烈蒸发导致。

另外,雨后连续晴天次生林和灌木灌丛由于土层浅薄土壤含水量下降幅度较大,尤其根系集中区的20—40 cm 土层含水量迅速下降。非喀斯特土山变化幅度较小,这是由于其土层深厚,调节土壤水分能力强。稀疏灌草丛的变化幅度最小,这仍然与其土壤、植被状况有关。



A. 灌木灌丛; B. 非喀斯特土山; C. 稀疏灌草丛; D. 次生林

图4 雨后连续晴天各植被剖面土壤含水量

Fig. 4. Vertical variation of soil moisture in the profile under various kinds of vegetation in consecutive sunny days after the rain

2.3 不同坡位植物群落土壤水分变化特征

图5为稀疏灌草丛和灌木灌丛坡面不同坡位各土壤层水分含量年均值。由图可知,稀疏灌草丛坡面和灌木灌丛坡面中坡土壤水分均值稍高,方差分析显示各坡面坡位间土壤水分并不存在显著差异($p > 0.05$)。从图中还可看出,稀疏灌草丛从各层次

间土壤含水量差别不大,而灌木灌丛各层次间土壤含水量差别很大,随土层加深,土壤含水量逐渐降低。这跟植被类型、冠层大小、根系深度以及土壤性质有关。

一般认为,当土地利用方式相对一致时,由于大气蒸发力沿坡向下递减、坡面径流的沿程入渗以

及侧向水流(饱和、非饱和土壤水分)等的综合作用, 土壤水分沿坡面向下逐渐增加^[11, 12]。王兵等人在荒漠化地区的研究表明不同坡位土壤水分差异很大, 下坡位土壤含水量明显高于上坡位与中坡位土壤含水量^[13]。马祥华等人对黄土高原土壤水分的研究结果表明土壤水分沿坡面同样呈此规律性变化, 下坡>中坡>上坡^[9]。由图 5 可知本研究区坡面不同坡位间土壤水分并不呈现此规律, 这与前人在喀斯特地区的研究结果一致。高华瑞等人在贵州喀斯特区乌江流域对不同碳酸岩组坡面坡位间土壤水分含量的研究表明各岩组坡面不同坡位间土壤含水量均不存在显著差异, 也不存在任何规律性^[3]。陈洪松等人在桂西北喀斯特峰丛洼地坡面不同坡位土壤含水量的研究同样表明坡位间土壤含水量不存在显著差异^[9]。这是由于喀斯特山区存在地表地下双层空间结构, 加上地形地貌复杂多变、小生境类型多样, 其坡面土壤水分运移也较其它地区复杂, 在植被类型相对一致、坡面较为均一的条件下, 坡位对土壤水分沿坡面的分布影响较小^[6]。

3 结论与讨论

3.1 小流域内各植被类型土壤水分动态变化特征

本研究结果表明小流域各植被类型土壤水分动态变化主要受降雨和蒸散过程的影响, 两者变化趋势基本吻合, 这与其他研究者在其他地区的研究结果一致^[13-17]。但各植被土壤水分变化幅度存在差异, 观测期内次生林和灌木灌丛变化幅度大于非喀斯特土山和稀疏灌草丛的变化幅度。同样, 雨后连续晴天次生林、灌木灌丛土壤水分降低幅度大, 非喀斯特土山和稀疏灌草丛土壤水分降低幅度小。各植被土壤水分在观测期分为 4 个阶段: 冬季平稳低熵期, 春季及夏初蓄水期, 夏季及秋初消耗期及秋季、冬初回升期。不同阶段各种植被类型土壤水分格局不同, 冬季平稳低熵期、秋季及冬初回升期各植被土壤含水量无显著差异, 春季及夏初蓄水期和夏季及秋初消耗期各植被土壤含水量存在显著差异。这些都与植被类型、根系深度及土壤性质有关。

小流域内各植被类型土壤剖面水分存在较大差异, 次生林、灌木灌丛坡面土壤剖面含水量从表层到深层表现为降低型, 稀疏灌草丛、非喀斯特土山则为增加型, 这跟植被类型、根系深度和土壤性质有关。不同土壤层水分含量也随植被类型的不同而不同, 0—10 cm、10—20 cm 土层的水分含量及变异系数为次生林、灌木灌丛大于非喀斯特土山、稀疏灌草丛, 20—30 cm、30—40 cm 土壤水分顺序正好相反, 但该层土壤水分变异系数仍为次生林、灌木灌丛大于非喀斯特土山、稀疏灌草丛。另外, 对灌木灌丛坡面和稀疏灌草丛坡面不同坡位土壤水分的年观测的结果表明不同坡位间土壤水分差异均不显著, 反映了喀斯特地区复杂多变的小生境和其独特的二元结构水文系统。

3.2 喀斯特区植被退化过程中土壤水分的变化特征

观测期内流域内次生林、灌木灌丛、稀疏灌草丛 0—40cm 年平均土壤含水量分别为 30.43%、30.8%、29.84%。次生林土壤含水量稍低于灌木灌丛, 稀疏灌草丛土壤含水量最低。程星等人的研究表明喀斯特地区林地的单位质量含水率和单位体积含水率均较灌丛和草坡高^[17], 刘方等人在喀斯特石漠化区的研究表明林地的水分含量显著高于

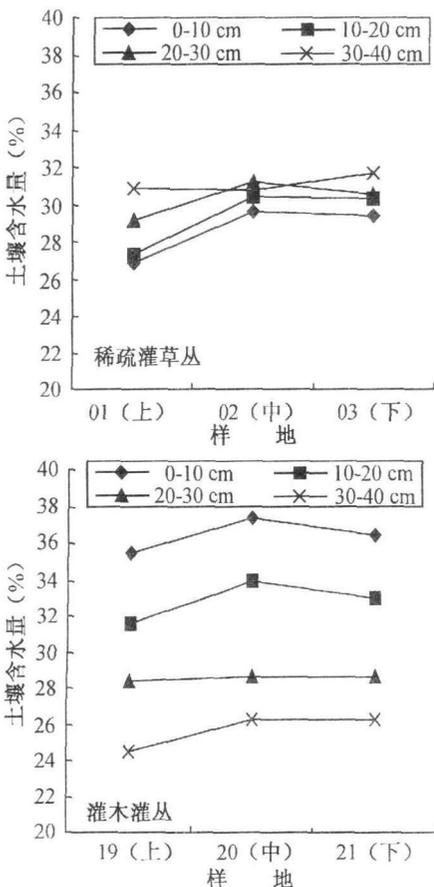


图 5 不同坡位土壤水分剖面变化

Fig. 5. Profile variation of soil water contents at different slope positions and different depths.

灌木地^[18]。而本研究结果显示该区次生林的年均土壤水分含量稍小于灌木灌丛,这可能跟观测年份及观测月份不同有关。本研究观测年份是特大欠水年,持续干旱对次生林植物带来了严重的水分胁迫,因为其强大的植物冠层蒸腾需水耗水量大,导致20—40 cm土层含水量一度达到极低值,最终导致其年均土壤水分含量稍低于灌木灌丛的土壤水分含量。本研究观测期内春季及夏初蓄水期这一阶段由于降雨相对频繁、雨量较大各植被土壤含水量顺序为次生林>灌木灌丛>稀疏灌草丛,与前人研究结果一致。

然而,张北赢等人在黄土高原不同植被类型下土壤水分的对比研究结果表明乔木林<灌木林<草地^[8],杜峰等人在西北半干旱区不同植被的土壤水分的研究结果也呈相同格局^[15]。这是因为黄土高原及西北半干旱区植物水分主要来自雨水补给的土壤水,而当地降雨稀少,由于乔木林的蒸腾耗水量大,故乔木林的土壤含水量最低,而草地由于蒸腾耗水少所以其土壤含水量最高。喀斯特地区的干旱是一种湿润气候背景上的临时性干旱,其形成原因不是降雨不足,而是土体贮水量低^[3],另外其独特的二元结构水文系统使水分容易沿裂隙转入地下,经常出现“地表水贵如油,地下水滚滚流”的现象。需要注意的是,喀斯特森林由于其群落林分郁闭,垂直结构复杂,大量枯落物覆盖于地表及填

充于裂隙中吸收了大量水分,很大程度上阻止了地表水的迅速下漏和地表径流的形成,形成水分赋存的二元结构^[19],导致其土壤含水量尤其是表层土壤含水量高。可见,喀斯特地貌水分的留存与良性循环对森林植被有着强烈的依附性^[20]。灌木灌丛坡面植物群落高度、盖度减小,生物量下降,枯落物随之减少,水赋存的二元结构被破坏,水分的良性循环被破坏,环境逐渐向着干旱化发展。本研究中稀疏灌草丛土壤水分含量最低,说明缺乏植被的遮挡裸露于外界的土壤遭受了最严重的蒸发。

观测期内非喀斯特土山0—40 cm年平均土壤含水量为31.52%,为各植被类型最高。这是由于其深厚的土层保水性能好,虽然地带性黄壤质地较粘重,不太利于植物吸收水分,但是其丰富的土水资源使该植物群落的稳定性强。

由于观测年份为欠水年,不同植被的土壤水分变化格局可能跟正常年份各植被的土壤水分变化格局存在一定差异^[16,21]。开展欠水年份土壤水分的研究有助于理解和预测极端干旱条件下喀斯特区各植被类型土壤水分的变化格局。关于平水年及丰水年的喀斯特区不同植被土壤水分的变化格局,将在以后的研究中进一步完善。

致谢:感谢陈生华博士提供小流域降雨数据。

参 考 文 献

- [1] 王世杰,李阳兵,李瑞玲.喀斯特石漠化的形成背景、演化与治理[J].第四纪研究,2003,23(6):657—666
- [2] 朱守谦,韦小丽,祝小科,等.乌江流域喀斯特石质山地水分特征研究[A].朱守谦.喀斯特森林生态研究(III)[C].贵阳:贵州科技出版社,2002:30—37
- [3] 高华瑞,朱守谦.乌江流域岩溶山地立地因子分析[A].朱守谦.喀斯特森林生态研究(III)[C].贵阳:贵州科技出版社,2002:49—59
- [4] 张伟,陈洪松,王克林,等.喀斯特地区典型峰丛洼地旱季表层土壤水分空间变异性初探[J].土壤学报,2006,43(4):554—562
- [5] 张继光,陈洪松,苏以荣,等.喀斯特峰丛洼地坡面土壤水分空间变异研究[J].农业工程学报,2006,22(8):54—58
- [6] 陈洪松,傅伟,王克林,等.桂西北岩溶山区峰丛洼地土壤水分动态变化初探[J].水土保持学报,2006,20(4):136—139
- [7] 王旎,钱晓刚,彭熙.花江峡谷不同植被类型下土壤水分时空分布特征[J].水土保持学报,2006,20(5):139—141
- [8] 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
- [9] 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
- [10] 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
- [11] Qiu Y, Fu B J, Wang J et al. Spatial variability of soil moisture content and its relation to environmental indices in a semi-arid gully catchment of the Loess Plateau, China[J]. Journal of Arid Environment, 2001, 49: 723—750

- [12] Qiu Y, Fu B J, Wang J, et al. Soil moisture variation in relation to topography and land use in a hillslope catchment of the Loess Plateau, China[J]. *Journal of Hydrology*, 2001, 240: 243—263
- [13] 王兵, 崔向慧, 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, 15(2): 143—149
- [14] 牛云, 张宏斌, 刘贤德, 等. 祁连山主要植被下土壤水的时空动态变化特征[J]. *山地学报*, 2002, 20(6): 723—726
- [15] 杜峰, 程积民, 山仑. 乔灌草植被条件下土壤水分动态特征[J]. *水土保持学报*, 2002, 16(1): 91—94
- [16] 陈洪松, 邵明安, 王克林. 黄土区荒草地和裸地土壤水分的循环特征[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(10): 1853—1857
- [17] 程星, 於芳. 喀斯特土壤水分变化研究[J]. *地球与环境*, 2005, 33: 139—143
- [18] 刘方, 王世杰, 罗海波, 等. 喀斯特石漠化过程中植被演替及其对径流水化学的影响[J]. *土壤学报*, 2006, 43(1): 26—32
- [19] 周政贤. 茂兰喀斯特森林考察报告[A]. 茂兰喀斯特森林科学考察集[C]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1987: 1—20
- [20] 王德炉, 朱守谦, 黄宝龙. 贵州喀斯特石漠化类型及程度评价[J]. *生态学报*, 2005, 25(5): 1057—1063
- [21] 唐彬, 谢小立, 英湘, 等. 红壤丘岗坡地土地利用与土壤水分的时空变化关系[J]. *生态与农村环境学报*, 2006, 22(4): 8—13

SPACE-TIME DISTRIBUTION OF SOIL WATER IN A KARST AREA : A CASE STUDY OF THE WANGJIAZHAI CATCHMENT, QINGZHEN, GUIZHOU PROVINCE

DU Xue-lian^{1,2}, WANG Shi-jie¹

(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract

Based on research on soil water of four main vegetation types during one year from Nov. 2005 to Dec. 2006, karst secondary forest, karst shrub, karst thin shrub grass non-karst shrub in the Wangjiazhai catchment, a typical karst area in Guizhou Province, the results showed that the temporal variation of soil water in different kinds of vegetation was the same, which was affected by precipitation and evapotranspiration in the observation period. But the variation extent of soil water in thin shrub grass and non-karst shrub was obviously smaller than that in karst shrub and karst secondary forest in the observation period and in consecutive sunny days after the rain. The seasonal dynamics of soil moisture was delimited into four stages: stable stage of low water(winter), accumulating stage (spring and early summer), consumptive stage (summer and early autumn), late stage of water storage (autumn and early winter). At the same time, different kinds of vegetation caused differences in soil moisture profiles. Soil water in karst shrub and karst secondary forest decreased with increasing soil depth, whereas soil water in thin shrub grass and non-karst shrub increased with increasing soil depth. Slope positions had little effect on soil water distribution along hillslope with the same vegetation type, which was caused by the particular complex topography and physiognomy of the karst area.

Key words: karst; soil water; space-time distribution