

黄壤径流小区植被覆盖度对土壤湿度的影响

孙智妍, 周秋文, 罗雅雪, 韦小茶, 余军林

(贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 土壤水是生态环境的重要因素,黄壤是亚热带湿润条件下的一种地带性土壤,研究植被覆盖度对土壤湿度的影响对该地区水文过程研究、水土保持、水资源利用都具有重要意义。设置植被覆盖度不同的黄壤径流小区,对其土壤湿度进行长期监测,分析不同植被覆盖度条件下土壤湿度的平均水平和变化特征,结果表明:植被覆盖度分别为75%、70%、50%、10%的条件下,土壤湿度平均值分别为43.04%、44.34%、43.33%、46.59%,土壤湿度的最大值、平均值以及变化范围、降雨时变化速度均与植被覆盖度呈负相关关系;植被覆盖度分别为75%、70%、50%、10%的条件下,各场降雨土壤湿度峰值开始时间总和分别为157、155、154、150 h,植被覆盖度较高条件下土壤湿度对降雨响应的滞后现象较为明显;9-12月,各植被覆盖度下土壤湿度均与气温呈显著正相关($P=0.05$),显示出无降雨影响时段的土壤湿度呈现随季节变化降低的趋势。综上所述,在研究期内,黄壤径流小区土壤湿度的动态特征主要受降雨影响,不同植被覆盖度条件下植被对降雨的截留作用不同,是导致土壤湿度差异的主要原因。

关键词: 土壤湿度; 植被覆盖度; 黄壤土; 径流小区

中图分类号: S714

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2019)04-0039-08

Effect of vegetation coverage on soil moisture in runoff plots filling with Yellow Soil

SUN Zhiyan, ZHOU Qiuwen, LUO Yaxue, WEI Xiaocha, YU Junlin

(School of Geography and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550025, China)

Abstract: Soil water is an important element in water circulation system. Yellow soil is a kind of zonal soils forming in subtropical zone humid climate. Investigating the effect of vegetation coverage on soil water in yellow soil region is of great significance to hydrological processes research, soil and water conservation, water resources utilization. By setting runoff plots filling with yellow soil with different vegetation coverage and analyzing average value and change factor of soil moisture in these runoff plots, the results indicated that: with vegetation coverages of 75%, 70%, 50% and 10%, the average soil moisture was 43.04%, 44.34%, 43.33% and 46.59%, respectively. The maximum and average value of soil moisture, range and speed of soil moisture changes had negative relationships with vegetation coverage. With the vegetation coverage of 75%, 70%, 50% and 10%, accumulated value of time of peak soil moisture was 157 h, 155 h, 154 h and 150 h, respectively. Therefore, there was a obvious hysteretic effect of response of soil water to precipitation when vegetation coverage was large. At each vegetation coverage, soil moisture was positively correlated with temperature significantly ($P=0.05$), indicating that soil moisture showed downtrend from September to December. In conclusion, in the study period, dynamic characteristic of soil moisture in runoff plots filling with yellow soil was mainly effected by precipitation. The main reason of the difference of soil moisture in the condition of various vegetation coverage was the difference of precipitation interception.

收稿日期: 2018-11-18; 修回日期: 2019-02-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(41761003); 贵州省本科教学工程建设项目: 地理与环境生态大学生创新训练中心(2016DC3); 贵州省科技支撑计划项目(黔科合支撑[2017]2855); 贵州省基础研究计划项目(黔科合基础[2017]1131)

作者简介: 孙智妍(1992-), 女, 辽宁沈阳人, 硕士研究生, 主要从事喀斯特生态水文过程研究。

通讯作者: 周秋文(1986-), 男, 广西灵川人, 博士, 副教授, 主要从事喀斯特生态水文过程研究。

Key words: soil humidity; vegetation coverage; yellow soil; runoff plot

1 研究背景

土壤水不仅是水文过程、区域小气候、土壤侵蚀过程的主要影响因子,而且是土壤系统物质循环的载体,也是植物生长和恢复的重要影响因素^[1]。研究土壤水与环境要素之间的关系对水文过程的研究以及水土保持、水资源利用都具有重要意义^[2]。

土壤湿度的影响因素较为复杂,主要有气候类型、土地利用、植被覆盖类型、地形地貌、土壤理化性质、土壤厚度等^[3-5]。已有研究认为,在不同土地覆盖或土地利用条件下,土壤湿度及变化特征具有不同的规律^[6-8]。植被覆盖作为一种重要的环境因素,对降雨有截留、消耗作用^[6,9],并通过影响其他环境要素,如气温、风速、土壤理化性质等,间接地对土壤湿度产生影响^[10],因此植被覆盖是影响土壤湿度的重要因素。已有关于植被对土壤湿度的影响研究中,不同植被类型对土壤湿度的影响研究较多,表明不同植被类型下,各季节土壤湿度水平与变化特征均存在差异,这与不同植被类型降雨的再分配,对土壤水分的消耗以及对土壤孔隙度、土壤有机质含量的影响有关^[11-13]。而且由于不同地区的气候、地形等地理环境不同,研究得出的各植被类型对土壤湿度的影响规律亦有差异。已有秦岭、长江源区、青藏高原等地区的相关研究表明,由于植被可改善土壤的持水能力,通常乔木林地与灌丛土壤湿度大于草地与荒地^[14],且植被覆盖度较高的条件下土壤湿度较大^[15-16]。也有研究发现在黄土高原等地区的干旱条件下,由于刺槐、油松、柠条等乔木或灌木耗水较多,可能导致土壤湿度较草地更低^[17-18]。气候类型对土壤湿度的影响较为明显,而黄壤是亚热带湿润条件下的地带性土壤之一,其分布地区的气候与目前相关研究所在区域有所不同,因此上述研究不能反映黄壤区植被覆盖对土壤湿度的影响。已有研究表明黄壤区不同植被类型条件下,土壤物理性质、水源涵养能力以及土壤水分入渗特征不同,其土壤湿度必然也对不同植被覆盖度表现出不同的响应特征^[19-21]。综上所述,目前关于植被覆盖度对土壤湿度影响的研究多集中于非黄壤区,黄壤区的研究主要为不同植被类型对土壤湿度的影响。因此,黄壤区不同植被覆盖度条件下的土壤湿度特征是一个有待研究的问题。

本研究设置植被覆盖度不同的黄壤径流小区,对研究时段整体、降雨影响时段、无降雨影响时段的

土壤湿度及其变化特征分别进行分析,对比各径流小区土壤湿度及其变化特征,从而得出黄壤径流小区尺度植被覆盖度对土壤湿度影响的规律。

2 数据与方法

2.1 研究区概况

本研究的径流小区位于贵阳市花溪区贵州师范大学地理与环境生态实验站,地理坐标为 106°37'E、26°23'N(见图 1)。花溪区海拔约 1 200 m,地貌以山地和丘陵为主,属亚热带季风气候,具有高原季风湿润气候特点。年平均气温 14.9℃,年极端最高气温 35.1℃,年极端最低气温 -7.3℃,年平均降雨量 1 178.3 mm,降雨较集中于夏季,年蒸发量 738 mm。植被覆盖较好,主要植被包括马尾松、麻栎、冬青、云南樟、枫香树等乔木以及灌木和荒山草坡,主要土壤类型为黄壤和石灰土。

2.2 径流小区与数据采集

共设置具有不同植被覆盖度的 4 个径流小区,每个径流小区规格均为 5 m × 3 m,坡度为 15°,坡向均为北坡。土壤类型为黄壤,人工填土后自然沉降一年。植被覆盖度采用照相法计算,其中径流小区 I 全部为自然生长杂草,植被类型 40% 为松香草、30% 为插田泡,20% 为何首乌,其余 10% 为狗尾草等,植被覆盖度 50%;径流小区 II 70% 为人工种植的红叶石楠,其余 30% 为松香草、狗尾草等自然生长草本类型,植被覆盖度 70%;径流小区 III 为荒地,自然生长少量何首乌与狗尾草,植被覆盖度 10%;径流小区 IV 的植被类型 80% 为人工种植的玉米,其余为松香草等自然生长杂草,植被覆盖度 75%。采用频域反射(FDR)法测量土壤湿度,测量精度为 ±3%,工作温度范围为 -40 ~ 85℃,每个径流小区设置 3 个土壤湿度探头,放置土壤深度为 20 cm。雨量、气温、蒸发量、风速、土壤热通量等气象数据来源于自动气象站,气象站距径流小区约 50 m。土壤湿度与气象数据记录间隔均设置为 1 h。

2.3 数据整理与分类

研究时段为 2017 年 9 月 16 日 12 时 - 12 月 4 日 12 时,由于 10 月 10 日 17 时 - 10 月 11 日 16 时土壤湿度记录仪供电不足,未记录土壤湿度,但此期间降雨量较少且降雨强度较小,并且未对土壤湿度形成明显影响,因此忽略。分别计算各径流小区内各探头每次记录土壤湿度数据的平均值,作为该次记录的土壤湿度数值。

通过对比研究时段的气象数据与土壤湿度数据可知,降雨量较多时,土壤湿度明显上升。因此,除了对研究时段数据进行整体分析之外,将所有土壤湿度数据分为有降雨影响时段与无降雨时段两类,并对这两类数据分别进行分析。降雨影响时段的数据选择方法为:每个雨量连续大于0的时段为一场降雨,先选择降雨开始前1 h至降雨结束后12 h数据,作为每场降雨影响的时段,然后通过观察每场降雨土壤湿度变化趋势以及土壤湿度极差,选出降雨对土壤湿度有明显影响的降雨场次,作为降雨影响时段数据,其余时段数据作为无降雨影响时段数据。

2.4 降雨影响时段数据分析

为研究不同植被覆盖度条件下土壤湿度对降雨的响应程度,计算各径流小区各场降雨的土壤湿度极差的平均值;为研究不同植被覆盖度条件下土壤湿度对降雨的响应速度,计算各径流小区各场降雨土壤湿度的变化速度以及各径流小区各场降雨土壤湿度峰值开始时间(从降雨前1 h开始计时)的总和。计算公式如下:

$$R_i = \frac{\sum_{j=1}^n (\max\{w_{ijt}\} - \min\{w_{ijt}\})}{n} \quad (1)$$

$$\bar{V}_i = \frac{\sum_{j=1}^n (\max\{w_{ijt}\} - w_{ijs}) + \sum_{j=1}^n (\max\{w_{ijt}\} - w_{ije})}{\sum_{j=1}^n (t_{ij\max} - t_{ijs}) + \sum_{j=1}^n (t_{ije} - t_{ij\max'})} \quad (2)$$

$$T_{i\text{总}} = \sum_{j=1}^n t_{ij\max} \quad (3)$$

式中: R_i 为径流小区*i*各场降雨土壤湿度极差的平均值; w_{ijt} 为径流小区*i*第*j*场降雨*t*时刻的土壤湿度数值(从降雨前1 h开始计时); V_i 为径流小区*i*土壤湿度平均变化速度; w_{ijs} 为土壤湿度受降雨影响开始上升前的土壤湿度数值; w_{ije} 为径流小区*i*第*j*场降雨土壤湿度峰值结束到降雨结束后12 h土壤湿度下降到最小值时的土壤湿度数值; t_{ijs} 为径流小区*i*第*j*场降雨土壤湿度受降雨影响开始上升前的时刻(从降雨前1 h开始计时); $t_{ij\max}$ 为径流小区*i*第*j*场降雨土壤湿度峰值开始的时刻(从降雨前1 h开始计时); $t_{ij\max'}$ 为径流小区*i*第*j*场降雨土壤湿度峰值结束的时刻; $T_{i\text{总}}$ 为径流小区*i*各土壤湿度峰值开始时间(从降雨前1 h开始计时)累加。

2.5 描述统计、相关分析与回归分析

采用SPSS软件对研究时段总体、无降雨影响时

段各径流小区土壤湿度数据进行描述统计,包括平均值、最大值、最小值、极差、标准差。对比各径流小区的统计结果,分析其土壤湿度的平均水平和变化特征。根据无降雨影响时段土壤湿度数据与风速、蒸发量、气温、相对湿度、土壤热通量等气象数据关系的散点图,选择其中与土壤湿度相关的气象因素。对各径流小区土壤湿度与气温、风速、相对湿度、土壤热通量等相关气象因素进行相关分析与回归分析,最后比较各径流小区土壤湿度的分析结果。

3 结果与分析

3.1 不同植被覆盖度条件下土壤湿度总体特征

各径流小区的土壤湿度统计数据如表1所示。由表1可知,土壤湿度的极差与标准差均为径流小区Ⅲ最大,径流小区Ⅰ居中,径流小区Ⅱ与径流小区Ⅳ较小,总体上土壤湿度的极差、标准差与植被覆盖度呈负相关关系,说明植被覆盖度较低的径流小区土壤湿度数值波动较大,受外界环境变化影响的程度较大。土壤湿度的平均值与最大值径流小区Ⅲ最大,径流小区Ⅳ最小,总体上壤水的最大值与平均值均与植被覆盖度呈负相关关系。各个径流小区之间土壤湿度最小值差距不大。降雨量及每个径流小区内各探头土壤湿度平均值随时间变化如图2所示。由图2可知,较大程度的土壤湿度变化均是由降雨所引起的。

表1 各径流小区土壤湿度统计数据 %

径流小区 编号	极差	最小值	最大值	平均值	标准差
I (50)	13.00	40.05	53.05	43.33	2.41
II (70)	9.77	42.73	52.50	44.34	1.29
III (10)	16.85	41.80	58.65	46.59	3.54
IV (75)	11.17	41.00	52.17	43.04	1.77

注:表中径流小区编号括号内的数字为径流小区的植被覆盖度,单位为%,下同。

3.2 降雨影响时段不同植被覆盖度条件下土壤湿度变化特征

研究时段降雨总量为123.32 mm。按照如前所述的降雨影响时段选择方法,选出雨量大于0的14场降雨,研究时段各场降雨的总降雨量,平均降雨强度以及各样地土壤湿度变化幅度如表2所示。由于降雨量较少时,土壤湿度变化幅度较小,因此选择土壤湿度变化幅度较大的第1、6、7次降雨进行研究,时间分别为9月19日19时-21日11时(降雨1)、

10月10日12时–13日11时(降雨6)、10月16日11时–20日11时(降雨7),不同植被覆盖度条件下各次降雨的土壤湿度变化幅度及平均值见图3。由表2与图3可知,不同植被覆盖度条件下土壤湿度极差的平均值有所不同,径流小区Ⅲ最大,径流小区Ⅰ与径流小区Ⅱ居中,径流小区Ⅳ最小,总体上降雨影响时段的土壤湿度极差与植被覆盖度呈负相关关系。

表2 各径流小区的各次降雨土壤湿度变化幅度 %

降雨 场次	降雨 量/mm	平均降 雨强度/ (mm·h ⁻¹)	径流小区编号			
			I (50)	II (70)	III (10)	IV (75)
1	21.59	0.77	9.50	7.07	10.60	7.67
2	0.31	0.03	0.80	0.57	0.85	0.53
3	0.33	0.03	0.60	0.27	0.50	0.30
4	1.96	0.12	0.45	0.40	0.75	0.47
5	2.21	0.06	0.40	0.50	0.90	0.47
6	27.56	0.78	8.00	5.70	10.70	5.13
7	40.54	0.48	6.70	8.47	7.30	4.83
8	0.51	0.03	0.40	0.33	0.50	0.20
9	2.79	0.15	0.15	0.33	0.40	0.13
10	17.53	0.20	0.85	0.40	0.45	0.33
11	0.58	0.03	0.80	0.37	0.65	0.27
12	0.74	0.03	0.50	0.43	0.60	0.30
13	0.46	0.03	0.25	0.27	0.40	0.13
14	6.22	0.07	0.50	0.43	0.75	0.30

降雨影响时段各径流小区的土壤湿度上升和下降以及总体变化的平均速度分别见表3和4。

表3 降雨影响时段各径流小区的土壤湿度上升和下降的平均速度

径流 小区 编号	各次土 壤湿度 上升数 值累加/ %	各次土 壤湿度 上升时 间累加/ h	土壤湿度 上升平均 速度/ (%·h ⁻¹)	各次土 壤湿度 下降数 值累加/ %	各次土 壤湿度 下降时 间累加/ h	土壤湿度 下降平均 速度/ (%·h ⁻¹)
I (50)	28.50	35.00	0.81	16.60	116.00	0.14
II (70)	25.83	49.00	0.53	18.50	112.00	0.17
III (10)	32.30	31.00	1.04	17.25	117.00	0.15
IV (75)	19.97	37.00	0.54	13.20	110.00	0.12

由表3和4可看出,径流小区Ⅲ的土壤湿度上升速度最大,Ⅰ居中,Ⅱ与Ⅳ较小;径流小区Ⅱ的土壤湿度下降速度最大,Ⅲ与Ⅰ居中,Ⅳ较小,各径流

小区的土壤湿度变化平均速度差距不大;径流小区Ⅲ的土壤湿度变化速度最大,Ⅰ与Ⅱ居中,Ⅳ最小。总体看来,降雨影响时段土壤湿度的变化与植被覆盖度的关系为:土壤湿度上升速度、变化速度与植被覆盖度大致呈负相关关系,土壤湿度下降速度未显示出随植被覆盖度变化的趋势。

表4 降雨影响时段各径流小区的土壤湿度变化平均速度

径流小区 编号	各次土壤 湿度变化 数值累加/%	各次土壤 湿度变化 时间累加/h	平均土壤 湿度变化 速度/(%·h ⁻¹)
I (50)	45.10	151.00	0.30
II (70)	44.33	161.00	0.28
III (10)	49.55	148.00	0.33
IV (75)	33.17	147.00	0.23

不同植被覆盖度条件下的土壤湿度变化速度与峰值开始时间总和见图4。图4中峰值开始时间(从降雨前1h开始计时)总和反映了土壤湿度峰值开始出现时间的先后。其中,径流小区Ⅳ(157h)数值最大,径流小区Ⅰ(154h)与Ⅱ(155h)数值相近,Ⅲ(150h)数值最小。土壤湿度峰值开始时间总和总体上与植被覆盖度呈正相关关系,植被覆盖度较高的径流小区土壤湿度峰值出现较晚,说明较高植被覆盖度使土壤湿度对降雨响应的滞后效应增强。

3.3 无降雨时段不同植被覆盖度条件下土壤湿度变化特征

无降雨时段各径流小区的土壤湿度统计数据见表5。表5表明,各径流小区的土壤湿度最小值相差不大,最大值在径流小区Ⅲ最大,Ⅰ与Ⅳ居中,Ⅱ最小,平均值在径流小区Ⅲ最大,Ⅱ居中,Ⅰ与Ⅳ较小。因此,土壤湿度的平均值、最大值总体上均与植被覆盖度呈负相关关系。而各径流小区土壤湿度最小值差距不大,由此可知,不同植被覆盖度条件下,土壤湿度平均值的差异主要是受土壤湿度数据中的较大数值影响而形成。

表5 无降雨时段各径流小区的土壤湿度数据 %

径流小区 编号	极差	最小值	最大值	平均值	标准差
I (50)	7.95	40.05	48.00	42.88	1.94
II (70)	3.33	42.80	46.13	44.06	0.68
III (10)	11.30	41.80	53.10	46.04	3.07
IV (75)	5.77	41.00	46.77	42.77	1.50

径流小区Ⅲ的土壤湿度的极差、标准差最大,Ⅰ与Ⅳ居中,Ⅱ较小。因此,总体上土壤湿度的极差、标准差与植被覆盖度呈负相关关系,说明植被覆盖度较低的径流小区土壤湿度数值波动较大,受外界环境变化影响的程度较大。

无降雨时段各径流小区土壤湿度随主要气象要素的变化趋势见图 5。由图 5 可知,土壤湿度与气温可能呈正相关,与风速、土壤相对湿度及热通量等要素未显示出明显的相关性。

对各径流小区土壤湿度与气温数据进行 Pearson 相关分析和一元线性回归分析,其结果分别见表 6 和 7。表 6 的 Pearson 相关分析结果表明,各径流小区的相关系数均大于 0,说明两者呈正相关关系,且相关系数通过 0.01 置信水平的检验,相关系

数未显示出随植被覆盖度变化的趋势。结合图 2 可知,气温较高的 9 和 10 月降雨量多,而 11 和 12 月降雨量较少,因此气温较高时段土壤水受降雨补给较多,土壤湿度偏高,进而图 4 呈现出土壤湿度随气温升高而上升的趋势。

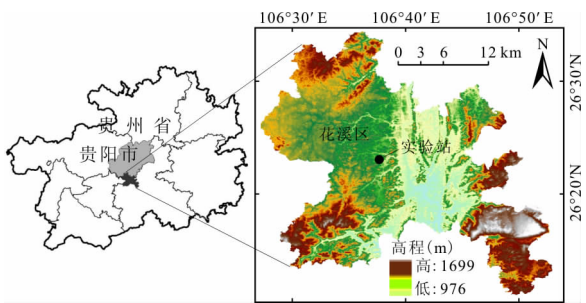


图 1 实验站地理位置图

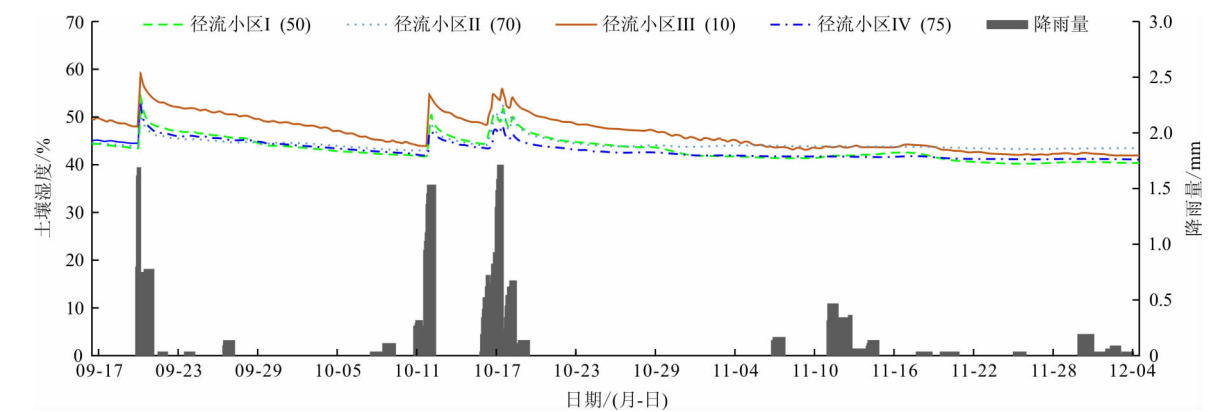


图 2 降雨量及每个径流小区内土壤湿度平均值随时间变化图

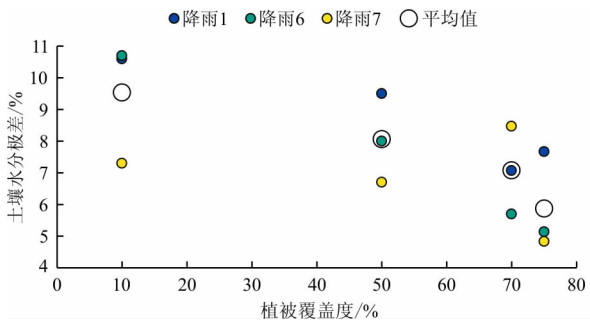


图 3 不同植被覆盖度条件下各次降雨的土壤湿度变化幅度及平均值

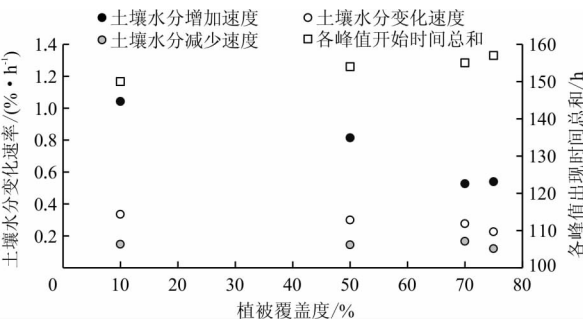


图 4 不同植被覆盖度条件下的土壤湿度变化速度与峰值开始时间总和

表 6 各径流小区土壤湿度与气温数据 Pearson 相关分析结果

径流小区编号	相关分析	
	相关系数	显著性
I (50)	0.557	0.000
II (70)	0.406	0.000
III (10)	0.589	0.000
IV (75)	0.665	0.000

表 7 各径流小区土壤湿度与气温数据线性回归分析结果

径流小区编号	回归分析		
	回归系数	截距	R^2
I (50)	0.166	40.261	0.310
II (70)	0.042	43.391	0.165
III (10)	0.278	41.652	0.348
IV (75)	0.154	40.349	0.443

表 7 的一元线性回归分析的结果表明,回归系数径流小区Ⅲ最大,其次为径流小区Ⅰ与径流小区Ⅳ,径流小区Ⅱ最小,总体上与植被覆盖度呈负相关

关系。因此,植被覆盖度越低,土壤湿度随温度的变化程度越大。一元线性回归方程的截距与 R^2 未显示出随植被覆盖度变化的趋势。

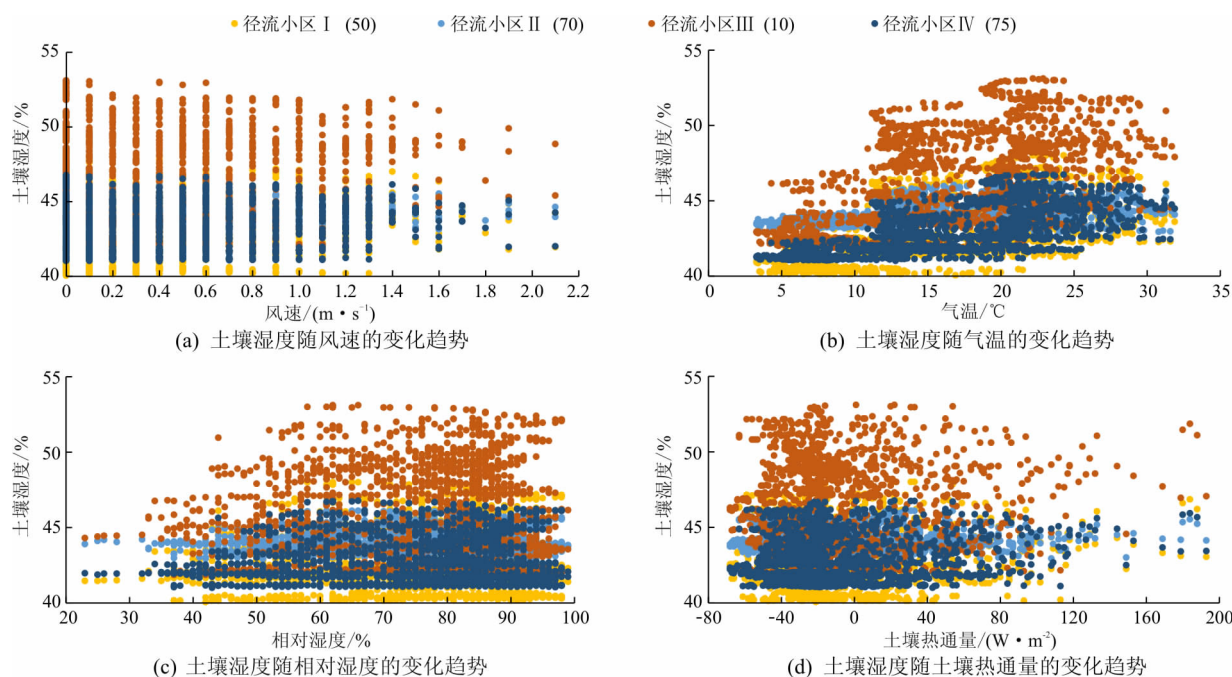


图5 无降雨时段各径流小区土壤湿度随主要气象要素的变化趋势

4 讨论

4.1 土壤湿度特征与相关研究的对比

本研究中植被覆盖度越高土壤湿度平均值及最大值越小,其中最大值受植被覆盖度影响的趋势较平均值更明显,而最小值未显示出随植被覆盖度变化的趋势。结合降雨量和各径流小区土壤湿度随时间变化特征可知(图2),不同植被覆盖度条件下土壤湿度受降雨的影响程度不同。这是由于植被覆盖度较高的条件下,降雨较多被植被截留,对土壤水补给较少。虽然通常植被覆盖度较高时植被耗水较多^[22-23],但植被可降低地表温度并减小风速,使土壤水蒸发速度较慢^[24],因此各径流小区土壤湿度最小值差异不大。各径流小区土壤湿度平均值受降雨补给差异的影响,也与植被覆盖度呈负相关关系。其中无降雨影响时段土壤湿度平均值同样与植被覆盖度呈负相关关系,这是由于土壤水补给来源主要为降雨,而且研究时段多阴雨天气且气温不高,土壤蒸发量不大,因此土壤湿度主要受降雨补给影响,与植被覆盖度呈负相关关系。此外,由于不同植被类型的高度与结构的差异会导致降雨截留的差异,再加上不同植被类型根系特征与土壤属性对土壤湿度的影响^[25],不同植被类型的耗水与蒸散特征以及不同植被对其他环境因素(近地表风速,土壤温度等)

的影响,也会对土壤湿度产生影响^[26-27]。而径流小区的植被覆盖包括草地、灌丛、作物3种不同类型,因此植被类型可能会对本研究的结果产生影响。

已有研究中,关于植被覆盖对土壤湿度的影响有着不同的结论。马菁等^[28]在云南元阳梯田设置径流小区,对土壤水分动态变化规律的研究表明,由于灌木及乔木对降水的再分配作用大于裸土较多的坡耕地,0~20 cm深度的土壤含水率依次为坡耕地>灌木地>乔木林地,该研究区土壤类型主要为黄棕壤,且气温、降雨与黄壤区相近,其研究结果与本研究植被截留作用使土壤水补给减少的结果相符。张晶晶等^[24]对黄土高原沟壑区坡面土壤水分的研究表明,土壤水分与植被覆盖度呈正相关关系,与本研究结果相反。这可能是由于该地区较高的植被覆盖度减少了土壤蒸发,而黄壤区降雨量较黄土高原区多,研究时段9~12月与全年相比蒸发减弱,降雨对湿度的影响较大,土壤蒸发对土壤湿度的影响较小,因此土壤湿度受不同植被覆盖度截留作用差异的影响大于蒸发差异的影响,导致土壤湿度与植被覆盖度呈负相关。张志才等^[1]研究了贵州喀斯特峰丛山体土壤水分分布特征及其影响因素,结果表明,由于植被可改善土壤保水能力,在其他条件相同的情况下,植被覆盖区土壤含水率明显高于裸露土壤,且不同类型植被对土壤保水作用的影响依次为林

地>低矮灌丛>草地,与本研究结果相反。这可能是由于本研究样地为人工填土的径流小区,植被生长时间较短,且各样地植被类型差异不大,未对土壤理化性质形成明显影响,因此植被主要通过对降雨进行再分配以及改变近地表小气候来影响土壤水循环。李菲^[29]研究了不同植被类型下典型喀斯特山区土壤水分动态及影响因素,结果表明,原生林与灌丛的土壤水分高于次生林与荒草地,其原因与植被改变土壤理化性质有关,进一步说明植被增加土壤水分的作用主要是通过改变土壤理化性质形成的。

本研究计算并对比了同一坡度不同植被覆盖度径流小区土壤湿度的极差与标准差,结果呈现出植被覆盖度越高土壤湿度极差与标准差越小的规律。原因除植被覆盖度越大降雨时的截留量越多外,也包括无降雨影响时土壤湿度受地表其他环境变化影响较少,如减小近地表风速导致蒸发减慢、减小地表温度变化范围从而使土壤湿度变化程度减小等,也可能与土壤湿度平均值较低使土壤水蒸发过程中供水状况较差从而减慢蒸发速度有关。

4.2 降雨影响时段土壤湿度与植被覆盖度呈负相关的原因

有降雨影响时段,土壤湿度上升速度与变化速度均与植被覆盖度呈负相关关系。这是由于同一场降雨中,植被覆盖度越大,降雨截留量越大,到达地表并向土壤入渗的降雨量越少,土壤湿度变化速度越慢。较高植被覆盖度增加了土壤湿度对降雨响应的滞后时间,是由于在较高植被覆盖度条件下,降雨通过植被层及枯落物层的过程经历了更多的时间,到达地表并开始向土壤入渗的时间较晚。而且,在降雨初期,降雨被植被截留的比例较大,截留量达到截留容量以后,降雨才开始大部分降落到地表并下渗,而通常植被覆盖度越高时截留容量越大,因此,在同样的降雨强度下,植被覆盖度越高则降雨量达到截留容量越晚,降雨开始较大比例穿透植被到达地表并向土壤入渗的时间较晚,因此植被覆盖度越高土壤湿度峰值出现越晚。

4.3 土壤湿度与气温的相关关系的复杂性

土壤湿度与气温呈正相关关系并通过 $P=0.01$ 水平的显著性检验,但相关关系并不等同于因果关系。理论上气温较高时土壤温度也较高,土壤蒸发相应增加从而导致土壤湿度降低,与研究结果相反。因此可推测是与气温同步变化的其他因素使土壤湿度降低,并且这种因素对土壤湿度的影响大于气温对土壤湿度的影响。研究时段为9-12月,理论上气温与降水均

呈现出总体减少的趋势,土壤水的补给也因降水减少而相应减少^[30-31]。结合图2可知降雨量更多分布于气温较高的9月与10月,研究时段降雨对土壤水的补给总体上呈减少趋势,且降雨补给减少对土壤湿度的影响大于气温降低蒸发减少对土壤湿度的影响。因此,土壤湿度与气温呈正相关关系的现象应理解为,在研究时段,由于降雨补给减少,从而土壤湿度与气温呈正相关关系。而各径流小区土壤湿度及气温的回归系数与植被覆盖度呈负相关关系,是由于植被覆盖度越大,降雨对土壤湿度的影响程度越小,因此植被覆盖度越大,土壤湿度季节变化程度越小。

5 结 论

不同植被覆盖度的径流小区土壤湿度平均值、最大值与降雨补给有关。由于不同植被覆盖度条件下植被对降雨的截留作用不同,总体上土壤湿度的平均值、最大值与植被覆盖度呈负相关关系,植被覆盖度为分别75%、70%、50%、10%的条件下,土壤湿度平均值分别为43.04%、44.34%、43.33%、46.59%。土壤湿度随时间的变化主要是受降雨、蒸发等气象要素的影响,本研究中土壤湿度的极差、标准差等与植被覆盖度呈负相关关系,表明土壤湿度对降雨、蒸发等气象要素变化的响应程度与植被覆盖度呈负相关关系。

雨强较小时,不同植被覆盖度条件下的土壤湿度均无明显变化,雨强较大时,土壤湿度的变化速度以及上升速度、下降速度均与植被覆盖度呈负相关关系,说明土壤湿度对降雨的响应速度与植被覆盖度呈负相关关系。植被覆盖度较高条件下,植被的截留容量增加,降雨通过植被层所用时间增加,因此土壤湿度峰值出现时间较晚,植被覆盖度为分别75%、70%、50%、10%的条件下,各场降雨土壤湿度峰值开始时间总和分别为157、155、154、150 h。土壤湿度对降雨响应的滞后效应与植被覆盖度呈正相关关系。

由于土壤湿度平均水平与降雨对土壤水的补给作用有关,而研究区具有季风区雨热同期的气候特点,在气温较高的季节,土壤水受降雨补给较多,且降雨补给变化对土壤湿度的影响程度大于气温变化引起的土壤蒸发变化,因此在9-12月,土壤湿度呈现出随季节变化的特点,与气温呈显著正相关($P=0.05$)。综上所述,在9-12月,黄壤径流小区土壤湿度的动态特征主要受降雨影响,不同植被覆盖度条件下植被对降雨的截留作用不同,是导致土壤湿度差异的主要原因。与较干旱地区及一些自然样

地的研究对比,土壤湿度受不同植被条件下土壤理化性质差异的影响较小。

参考文献:

- [1] 张志才,陈喜,石朋,等. 贵州喀斯特峰丛山体土壤水分特征及其影响因素[J]. 长江流域资源与环境,2008,17(5):803-807.
- [2] 霍嘉仪,陈丽华,及金楠,等. 晋西黄土区不同林地类型对土壤水分特性的影响[J]. 山地学报,2018,36(3):364-371.
- [3] 夏雯,黄代民,崔晨,等. 西南喀斯特地区土壤水分研究进展[J]. 中国农学通报,2009,25(23):442-446.
- [4] BARONI G, ORTUANI B, FACCHI A, et al. The role of vegetation and soil properties on the spatio-temporal variability of the surface soil moisture in a maize-cropped field[J]. Journal of Hydrology,2013(489):148-159.
- [5] LIU Qi, HAO Yonghong, STEBLER E, et al. Impact of plant functional types on coherence between precipitation and soil moisture: a wavelet analysis[J]. Geophysical Research Letters,2017,44(24):12197-12207.
- [6] ENGLISH N B, WELTZIN J F, FRAVOLINI A, et al. The influence of soil texture and vegetation on soil moisture under rainout shelters in a semi-desert grassland[J]. Journal of Arid Environments,2005,63(1):324-343.
- [7] 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.
- [8] 劳文科,吴孔运. 喀斯特地区不同土地利用方式下包气带土壤水分动态特征[J]. 地球与环境,2008,36(2):119-124.
- [9] 张晶晶,王力. 黄土高原高塬沟壑区坡面表层土壤水分研究[J]. 水土保持通报,2011,31(1):93-97.
- [10] 彭超,陈月华,吴际友. 不同地表覆盖对地表温度、湿度和土壤水分的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2014,34(4):54-59.
- [11] 杨胜天,王玉娟,温志群,等. 典型喀斯特灌丛草坡类型区土壤水变化规律研究[J]. 水土保持通报,2007,27(4):100-106.
- [12] 温志群,杨胜天,宋文龙,等. 典型喀斯特植被类型条件下绿水循环过程数值模拟[J]. 地理研究,2010,29(10):1841-1852.
- [13] LI Shanghua, ZHOU Demin, LUAN Zhaoqing, et al. Quantitative simulation on soil moisture contents of two typical vegetation communities in Sanjiang Plain, China[J]. Chinese Geographical Science,2011,21(6):723-733.
- [14] 杨英,孙虎,胡克志,等. 南水北调中线水源地不同植被类型坡地土壤水分特征研究——以秦岭南坡宁陕县寨沟小流域为例[J]. 长江流域资源与环境,2008,17(2):212-216.
- [15] 柴雯,王根绪,李元寿,等. 长江源区不同植被覆盖下土壤水分对降水的响应[J]. 冰川冻土,2008,30(2):329-337.
- [16] 王根绪,沈永平,钱鞠,等. 高寒草地植被覆盖变化对土壤水分循环影响研究[J]. 冰川冻土,2003,25(6):653-659.
- [17] 武晓莉,吕相海,李国会,等. 晋西黄土区典型植被类型的土壤水分特征[J]. 林业科学研究,2014,27(4):487-492.
- [18] 杨永东,张建生,蔡国军,等. 黄土高原丘陵沟壑区不同植被类型土壤水分动态变化[J]. 水土保持研究,2008,15(4):149-151+156.
- [19] 蒋天明,刘海隆,刘洪斌,等. 黄壤坡地土壤水分入渗垂直变异特征分析[J]. 水土保持学报,2004,18(3):49-52+56.
- [20] 牛晓彤,刘目兴,易军,等. 三峡山地土壤水分特征曲线及模型拟合[J]. 灌溉排水学报,2017,36(9):75-80.
- [21] 周玮,朱军,吴鹏,等. 枉寨小流域不同植被下土壤水分物理特性的研究[J]. 中南林业科技大学学报,2012,32(5):92-96.
- [22] 茹桃勤,李吉跃,孔令省,等. 刺槐耗水研究进展[J]. 水土保持研究,2005,12(2):135-140.
- [23] 袁国富,罗毅,邵明安,等. 塔里木河下游荒漠河岸林蒸散规律及其关键控制机制[J]. 中国科学:地球科学,2015,45(5):695-706.
- [24] 张晶晶,王力. 黄土高原高塬沟壑区坡面表层土壤水分研究[J]. 水土保持通报,2011,31(1):93-97.
- [25] WANG Shuai, FU Bojie, GAO Guangyao, et al. Responses of soil moisture in different land cover types to rainfall events in a re-vegetation catchment area of the Loess Plateau, China[J]. Catena,2013(101):122-128.
- [26] ZHENG Hao, GAO Jixi, TENG Yanguo, et al. Temporal variations in soil moisture for three typical vegetation types in inner Mongolia, northern China[J]. Plos One,2015,10(3):e0118964.
- [27] 徐志尧,张钦弟,杨磊. 半干旱黄土丘陵区土壤水分生长季动态分析[J]. 干旱区资源与环境,2018,32(3):145-151.
- [28] 马菁,宋维峰. 元阳梯田水源区土壤水分动态变化规律研究[J]. 生态科学,2016,35(2):33-43.
- [29] 李菲. 典型喀斯特山区不同植被类型土壤水分动态变化及其对植物光合作用的响应[D]. 贵阳:贵州师范大学,2016.
- [30] 易秀,李现勇. 区域土壤水资源评价及其研究进展[J]. 水资源保护,2007,23(1):1-5.
- [31] 夏自强,李琼芳. 土壤水资源的变化和补给特征研究[J]. 水文,2001,21(5):1-5.