

贵州省喀斯特区域粘壤土土壤湿度 垂直分布对降水响应研究

邹双泽¹ 白爱娟¹ 田淙海² 袁淑杰¹ 谷晓平³¹

(1. 成都信息工程大学 大气科学学院, 四川 成都 610225;

2. 山西省气象局, 山西 太原 030002;

3. 贵州省生态气象和卫星遥感中心, 贵州 贵阳 550000)

【摘要】: 利用贵州省喀斯特区域 2011—2020 年 25 个粘壤土自动土壤水分观测站逐日土壤湿度、降水和气温资料, 应用统计分析法分析了降水强度、降水持续时间、气温对土壤湿度垂直分布的影响。结果表明: (1) 降水强度相同, 随降水持续时间增加, 同一土层的土壤湿度增量增大。例如, 如果 $10.0 \leq R \leq 24.9 \text{ mm}$, 1—4 日连续降水情况下, 10 cm 土壤湿度增量分别主要集中在 0.5%—6.0%、0.6%—7.1%、0.7%—12.7%、1.0%—13.1%。(2) 降水持续时间相同, 随降水强度增加, 同一土层的土壤湿度增量增大, 土壤湿度变化深度为 50 cm 的频率增大, 在 $R \leq 24.9 \text{ mm}$ 最显著。(3) 降水强度和持续时间相同, 气温升高, 同一土层土壤湿度增量减小。

【关键词】: 喀斯特区域 土壤湿度 垂直分布 降水

【中图分类号】: P463.1 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1005-8141 (2021) 08-0921-07

土壤湿度是表征陆面状况的一个重要物理量, 在地—气间水分与能量交换中起到支配和调控作用, 是气候变化中的敏感因子, 与气候变化相互制约、相互影响^[1-3], 它通过改变土壤热容量、地表反照率、地表蒸发和向大气输送感热与潜热等方式, 影响区域气候变化^[4,5]。土壤湿度还影响着作物种植和生长, 对农业发展具有重要作用。影响土壤湿度变化的因子有降水、气温、土壤类型等, 其中降水对土壤湿度的影响最为明显^[6,7]。贵州省具有独特的喀斯特地貌特征, 该区域可溶岩成土速率缓慢、土层较浅薄、土壤蓄水和保水能力有限、生态环境脆弱^[8,9]。土壤湿度是喀斯特生态环境的主要制约因子, 土壤湿度的垂直分布和降水对土壤湿度的影响有其独特性。贵州省土壤类型丰富, 粘壤土是贵州喀斯特地区分布相对较广的土壤类型之一, 因此开展该省喀斯特区域粘壤土土壤湿度垂直分布对降水响应的研究, 将为该区域开展气候研究、改善生态环境、指导区域农业产业化布局和社会经济发展提供理论依据。

国内外针对土壤湿度对降水响应的研究众多。如, Small、Giorgi、Sloan^[10]研究发现, 在极端干旱的情况下, 降水可以通过土壤干裂的缝隙直接影响深层土壤湿度; Chow、Chan、Shi 等^[11]通过数值模式模拟发现, 青藏高原土壤湿度会影响东亚季风的强弱和

作者简介: 邹双泽 (1996-), 女, 四川省广安人, 硕士, 主要从事气象防灾减灾研究。

谷晓平 (1968-), 女, 贵州省贵阳人, 教授, 主要从事山地气候资源及山地气象灾害研究。

基金项目: 西部山地突发性暴雨形成机理及预报理论方法研究 (编号: 2018YFC1507200); 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室科技发展基金项目

长江流域夏季降水;姜丽霞、李帅、纪仰慧等^[12]揭示了在作物种植期,0—30cm 土壤湿度随着降水强度的增加而显著增加,随着气温的增加而减小;左志燕、张人禾^[13]研究了我国东北和长江中下游地区夏季降水与春季土壤湿度的联系,表明春季土壤湿度偏湿,对应着夏季降水偏多;陈少勇、郭凯忠、董安祥^[14]采用 1961—2002 年黄土高原降水量月资料和土壤重量含水率旬资料,发现黄土高原土壤湿度与降水呈极显著的正相关;王毅荣^[15]采用 EOF 和小波分析方法,发现甘南草原地区土壤水分年际演变与降水同向性较好,与气温呈反位向配置;黄勇、邱旭敏、黄国贵^[16]利用水文气象卫星产品研究了淮河流域表层土壤湿度的空间分布及与降水的关系,发现除山区和河流附近,表层土壤湿度对降水响应时间具有滞后性。

国内的研究区域主要集中在我国北部、西北部、东部等地,近年针对喀斯特区域降水对土壤湿度的影响研究才逐渐增多起来^[17-19]。以往的研究主要关注表层土壤湿度,而降水对土壤水分垂直分布影响的研究较少,且所用站点资料时间分辨率多为旬、月和年。近年来,随着观测设备更新和土壤湿度自动观测网络的形成,利用更高时空分辨率的逐日资料支撑贵州喀斯特区域降水对土壤湿度的垂直分布影响的研究成为可能。土壤类型对土壤水分的垂直分布影响较大^[20]。粘壤土是贵州喀斯特区域分布相对较广的土壤类型之一,粘壤土土质细密、保水保肥力较强。

为了详细分析贵州喀斯特区域土壤湿度垂直分布对降水的响应,本文利用该省喀斯特区域 2011—2020 年 25 个粘壤土土壤水分自动观测站 0—50cm 土壤湿度逐日观测资料和逐日降水、气温资料,应用统计分析方法分析了降水和气温对土壤湿度垂直分布的影响。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区域概况

贵州省地处云贵高原,位于 103° 36′ —109° 35′ E、24° 37′ —29° 13′ N 之间,气候温暖湿润,年均气温 14—16℃,年均降水量 1100—1400mm;地势西高东低,复杂多变,以高原山地为主;属生态环境脆弱的喀斯特地域,喀斯特地貌面积 129545.72km²,占全省国土面积的 73.5%^[21]。

1.2 数据来源

本文所用资料均来自贵州省气象局,主要包括 2011—2020 年贵州省 25 个粘壤土自动土壤水分观测站(图 1)的逐日平均气温、降水量和 0—50cm 土壤湿度观测资料。

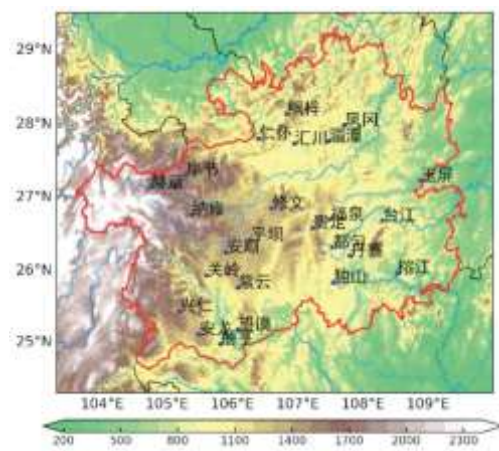


图 1 贵州省粘壤土土壤湿度站点分布

1.3 研究方法

土壤湿度的垂直分布变化包括同一土层土壤湿度的变化量和土壤湿度的变化深度。为了定量分析降水对土壤湿度垂直分布的影响程度,本文定义了降水类型、土壤湿度增量、土壤湿度变化深度、土壤湿度变化深度频率。本文中的土壤湿度指土壤相对湿度。

$$\text{土壤相对湿度} = \frac{\text{土壤含水量 (g/g)}}{\text{田间持水量 (g/g)}} \times 100\% \tag{1}$$

土壤湿度的观测深度为 50cm, 共分为 5 层 (0—10cm、10—20cm、20—30cm、30—40cm、40—50cm), 10cm 土壤湿度是指 0—10cm 土层的土壤相对湿度, 以此类推。

降水类型: 降水强度相同, 而降水持续时间不同, 土壤湿度的垂直分布变化不同。本文对降水持续时间做如下规定:

1 日降水: 1 日降水量 $\geq 0.1\text{mm}$; 2 日连续降水: 连续 2 日, 每日降水量均 $\geq 0.1\text{mm}$; 3 日连续降水: 连续 3 日, 每日降水量均 $\geq 0.1\text{mm}$; 4 日连续降水: 连续 4 日, 每日降水量均 $\geq 0.1\text{mm}$ 。

本文参照中国气象局降水强度等级划分标准 (GB/T28592-2012), 将降水强度划分为 6 个等级: $0.0 < R \leq 1.0\text{mm}$ 、 $1.1 \leq R \leq 9.9\text{mm}$ 、 $10.0 \leq R \leq 24.9\text{mm}$ 、 $25.0 \leq R \leq 49.9\text{mm}$ 、 $50.0 \leq R \leq 99.9\text{mm}$ 、 $R \geq 100.0\text{mm}$ 。若 1 日降水, 降水量为该日降水量的数值, 2、3、4 日连续降水, 降水量为 2、3、4 日连续降水量的累计值, 见表 1。

由表 1 可见, 降水强度为 $0.0 < R \leq 1.0\text{mm}$, 降水持续时间为 1 日降水, 称为 1 种降水类型, 一共有 24 种。按照上述标准, 本文分别统计了 2011—2020 年贵州省 25 个粘壤土自动土壤水分观测站观测的逐日 0—50cm 土壤湿度资料。

表 1 贵州省粘壤土区域 24 种降水类型及样本个数 (2011—2020 年)

降水强度 (mm)	1 日降水	2 日连续降水	3 日连续降水	4 日连续降水
$0.0 < R \leq 1.0\text{mm}$	1789	379	98	16
$1.1 \leq R \leq 9.9\text{mm}$	1564	891	735	568
$10.0 \leq R \leq 24.9\text{mm}$	438	639	458	564
$25.0 \leq R \leq 49.9\text{mm}$	192	345	326	472
$50.0 \leq R \leq 99.9\text{mm}$	52	125	173	385
$R \geq 100.0\text{mm}$	15	33	29	176

土壤湿度增量 (ΔW): n ($n=1-4$) 日降水量 $\geq 0.1\text{mm}$ 时, 第 n 日与第 0 日同一土层土壤湿度的变化量。若第 0 日降水量 $< 0.1\text{mm}$, 10cm 土壤湿度为 W_0 ; 若第 1 日降水量 $\geq 0.1\text{mm}$, 10cm 土壤湿度为 W_1 ; 若第 2 日降水量 $< 0.1\text{mm}$, 记为 1 日降水, 10cm 土壤湿度增量 $\Delta W = W_1 - W_0$ 。以此类推。

土壤湿度变化深度 (ΔH): $n(n=1-4)$ 日降水量 $\geq 0.1\text{mm}$ 时, 第 n 日与第 0 日同一土层土壤湿度增量 $\Delta W > 0$ 的土层深度的最大值。若 10cm、20cm、30cm、40cm、50cm 土壤湿度增量 ΔW 均小于等于 0, 土壤湿度变化深度 $\Delta H=0\text{cm}$; 若 10cm 土壤湿度增量 $\Delta W > 0$, 20cm、30cm、40cm、50cm 土壤湿度增量 ΔW 均小于等于 0, 土壤湿度变化深度 $\Delta H=10\text{cm}$ 。以此类推。

土壤湿度变化深度频率 (F): 如果某种降水类型的样本总数为 N , 该类型土壤湿度变化深度为 10cm 的样本数为 m , 则该类型下土壤湿度变化深度为 10cm 的频率记 F :

$$F = m / N \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

2 结果及分析

2.1 降水对土壤湿度垂直分布的影响

本文分别统计了贵州省粘壤土区域 24 种降水类型对土壤湿度垂直分布的影响, 包括 0cm、10cm、20cm、30cm、40cm、50cm 土壤湿度增量、土壤湿度变化深度及每种降水类型中 0cm、10cm、20cm、30cm、40cm、50cm 土壤湿度变化深度频率。本文将主要分析贵州省粘壤土区域降水对土壤湿度增量和土壤湿度变化深度频率的影响。由于篇幅限制, 表 2 只列出了 2 日连续降水土壤湿度增量统计。从表 2 可以看出:①降水强度相同, 随降水持续时间增加, 同一土层土壤湿度增量逐渐增大。0.0 $\leq R \leq 1.0\text{mm}$ 时, 降水几乎不引起土壤湿度的变化; 1.1 $\leq R \leq 9.9\text{mm}$ 时, 1—4 日连续降水下, 10cm 土壤湿度的增量分别为 0.11%—2.00%、0.40%—3.05%、0.50%—5.55%、0.54%—6.03%; 10.0 $\leq R \leq 24.9\text{mm}$ 时, 1—4 日连续降水下, 10cm 土壤湿度的增量分别为 0.50%—6%、0.60%—7.1%、0.72%—12.7%、1.00%—13.04%; 25.0 $\leq R \leq 49.9\text{mm}$ 时, 1—4 日连续降水下, 10cm 土壤湿度的增量分别为 0.40%—10.01%、0.66%—12.14%、0.60%—13.17%、0.89%—13.58%。 $R \geq 50.0\text{mm}$ 时, 10cm 土壤湿度的增量分别为 0.05%—13.00%、1.49%—13.75%、0.86%—13.99%、2.00%—14.75%。②降水持续时间相同, 随着降水强度越大, 同一土层的土壤湿度增量增大。如 2 日连续降水下, 1.1 $\leq R \leq 9.9\text{mm}$ 时, 10cm 土壤湿度的增量为 0.40%—3.05%; 10.0 $\leq R \leq 24.9\text{mm}$ 时, 10cm 土壤湿度的增量为 0.60%—7.1%; 25.0 $\leq R \leq 49.9\text{mm}$ 时, 10cm 土壤湿度的增量为 0.66%—12.14%; $R \geq 50.0\text{mm}$ 时, 10cm 土壤湿度的增量为 1.49%—13.75%。

表 2 贵州省粘壤土区域 2 日连续降水下 10cm、20cm、30cm、40cm、50cm 土壤湿度增量统计

2 日降水量 (mm)	变化深度 (cm)	土壤湿度增量 (%)				
		10cm	20cm	30cm	40cm	50cm
0.1—1.0	10	0.36—0.78	0	0	0	0
	20	0—0.72	0—0.50	0	0	0
	30	0—1.51	0.08—1.84	0—1	0	0
	40	0—0.71	0—1.70	0—1.20	0.34—2.19	0
	50	0—0.35	0—0.65	0—0.81	0.17—1.00	0.11—0.52
1.1—9.9	10	0.40—3.05	0	0	0	0
	20	1.01—7.54	0.28—1.28	0	0	0

	30	0.26—5.50	0.24—2.35	0.15—0.90	0	0
	40	0.31—4.61	0.04—2.83	0.03—1.03	0.11—0.67	0
	50	0.30—3.98	0—2.12	0—1.57	0—1.06	0.12—1
10.0—24.9	10	0.72—4.41	0	0	0	0
	20	1.85—15.65	0.32—2.05	0	0	0
	30	1.85—9.52	0.58—4.27	0.26—1.87	0	0
	40	2.24—12.70	1.21—4.76	0.53—3.19	0.25—1.14	0
	50	1.60—8.36	0.87—5.79	0.44—4.16	0.17—2.71	0.30—2.06
25.0—49.9	10	0.66—3.79	0	0	0	0
	20	1.34—12.38	0.28—1.57	0	0	0
	30	1.51—8.25	0.44—3.87	0.23—1.64	0	0
	40	1.73—9.00	0.98—3.89	0.36—2.07	0.16—0.95	0
	50	1.92—12.14	0.92—7.36	0.51—5.99	0.22—3.15	0.36—3.11
50.0—99.9	20	1.34—10.04	0.28—1.42	0	0	0
	30	1.45—6.71	0.42—3.91	0.21—1.06	0	0
	40	1.49—7.78	1.00—3.76	0.36—1.41	0.15—0.80	0
	50	1.45—10.81	0.63—6.73	0.33—4.91	0.1—2.9	0.27—3.36
≥ 100.0	40	1.49—6.91	0.98—3.52	0.35—1.37	0.15—0.800	
	50	2.12—13.75	0.37—7.65	0.22—5.08	0.66—3.11	0.21—4.98

贵州省粘壤土区域 24 种降水类型 10cm、20cm、30cm、40cm、50cm 土壤湿度变化深度频率分布见图 2。从图 2 可见:① $0.0 < R \leq 1.0\text{mm}$, 1—4 日连续降水下, 土壤湿度变化深度为 0cm 的频率分别为 79%、71%、65%和 63%, 土壤湿度变化深度为 10cm 的频率为 5%、10%、11%、1%, 10cm 土壤湿度的增量集中在 0—0.20%、0.36—0.78、0.20—0.85%、0.20—0.90%。② $1.1 \leq R \leq 9.9\text{mm}$, 1—4 日连续降水下, 土壤湿度变化深度为 0cm 的频率分别为 52%、38%、34%、24%。1—4 日连续降水下, 土壤湿度变化深度为 10—40cm 的频率均超过了 30%。10cm 土壤湿度的增量主要集中在 0—6.00%、0.40—7.54%、0.30—7.79%、0.95—8.80%。③ $10.0 \leq R \leq 24.9\text{mm}$, 1—4 日连续降水下土壤湿度变化深度为 0cm 的频率分别为 15%、12%、11%、7%。1—4 日连续降水下土壤湿度变化深度为 10—40cm 的频率均超过 40%。10cm 的土壤湿度增量主要集中在 0.50—10%、0.72—12.7%、1.00—13.04%、0.89—13.00%, 20cm 土壤湿度的增量主要集中在 0.09—4.75%、0.32—5.79%、0.40—5.50%、0.49—6.04%。④ $25.0 \leq R \leq 49.9\text{mm}$, 共 1335 个样本, 1—4 日连续降水下土壤湿度变化深度为 0cm 的频率分别为 4%、11%、5%、3%。1—4 日连续降水下土壤湿度变化深度为 10—40cm 的频率均不足 25%, 而变化深度为 50cm 的频率均超过了 70%。此时, 10cm 土壤湿度的增量分别为 0.40—10.01%、0.66—12.14%、0.60—13.17%、0.89—13.58%, 50cm 土壤湿度的增量主要集中在 0.10—2.50%、0.36—3.11%、0.47—3.20%、0.33—3.40%。⑤ $50.0 \leq R \leq 99.9\text{mm}$, 1—4 日连续降水下, 只有少数样本的土壤湿度变化深度为

10cm, 频率分别为 0%、0%、0%、1%, 土壤湿度变化深度为 50cm 的频率分别为 74%、68%、68%、75%。此时, 10cm 土壤湿度的增量主要集中在 1.34%—10.20%、1.34%—10.81%、1.50%—11.01%、1.52%—11.83%, 50cm 土壤湿度的增量主要集中在 0.09%—2.50%、0.27%—3.36%、0.32%—3.77%、0.47%—4.33%。⑥ $R \geq 100.0\text{mm}$ 时, 1—4 日连续降水下土壤湿度变化深度为 50cm 的频率分别为 82%、63%、75%、85%。此时, 10cm 土壤湿度的增量主要集中在 0.05%—13.00%、1.49%—13.75%、0.86%—13.99%、2.00%—14.75%, 50cm 土壤湿度的增量主要集中在 0.01%—4.00%、0.21%—4.98%、0.39%—5.29%、0.46%—5.78%。

综上所述, 当 $0.0 \leq R \leq 24.9\text{mm}$, 降水持续时间相同, 随着降水强度的增加, 土壤湿度变化深度为 0cm 的频率减少, 土壤湿度变化深度为 50cm 的频率增加。如 2 日连续降水, $0.0 \leq R \leq 1.0\text{mm}$ 、 $1.1 \leq R \leq 9.9\text{mm}$ 和 $10.0 \leq R \leq 24.9\text{mm}$ 下, 土壤湿度变化深度为 0cm 的频率分别为 71%、38% 和 12%, 而土壤湿度变化深度为 50cm 的频率分别为 7%、13% 和 42%。 $R \geq 25.0\text{mm}$ 时, 土壤湿度变化深度为 50cm 的频率差异较小, 如两日连续降水, 当 $25.0 \leq R \leq 49.9\text{mm}$ 、 $50.0 \leq R \leq 99.9\text{mm}$ 、 $R \geq 100.0\text{mm}$ 下土壤湿度变化深度为 50cm 的频率分别为 69%、64% 和 80%。

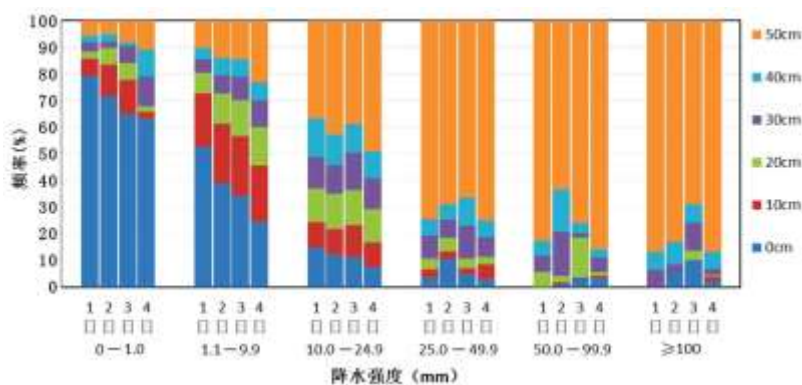


图 2 贵州省粘壤土区域 24 种降水类型土壤湿度变化深度频率

2.2 气温对土壤湿度的影响

土壤湿度垂直分布变化不仅与降水强度、降水持续时间有关, 还受到气温 (t) 的影响。本文将气温划分为 3 个等级, 即 $t < 10.0^\circ\text{C}$ 、 $10.0 \leq t < 20^\circ\text{C}$ 和 $t \geq 20.0^\circ\text{C}$, 分别统计了在不同气温等级下, 不同降水类型土壤湿度变化深度的频率 (图 3)。表 3、4、5 为不同气温条件下土壤湿度主要变化深度及土壤湿度增量。从表中数据可以看出: 降水强度和持续时间相同, 气温升高, 同一土层的土壤湿度增量减少。以 2 日连续降水为例, $t < 10.0^\circ\text{C}$ 、 $t < 20.0^\circ\text{C}$ 和 $t \geq 20.0^\circ\text{C}$, $10.0 \leq R \leq 24.9\text{mm}$ 时, 10cm 土壤湿度的增量分别为 1.31%—11.34%、2.45%—10.84% 和 3.04%—10.10%, 20cm 土壤湿度的增量分别为 2.72%—6.65%、1.13%—6.55%、1.84%—6.39%; $25.0 \leq R \leq 49.9\text{mm}$ 时, 10cm 土壤湿度的增量分别为 3.64%—24.35%、6.12%—14.39%、2.87%—16.39%, 20cm 土壤湿度的增量分别为 3.38%—11.53%、4.07%—9.40%、1.84%—8.39%; $50.0 \leq R \leq 99.9\text{mm}$ 时, 10cm 土壤湿度的增量分别为 0.76%—22.19%、4.61%—24.05%、7.32%—17.26%, 20cm 土壤湿度的增量分别为 3.23%—13.00%、3.21%—11.32%、4.09%—12.81%; $R \geq 100.0\text{mm}$ 时, 20cm 土壤湿度的增量分别为 3.70%—14.40% 和 1.6%—14.0%。

降水强度和持续时间相同, 气温变化对 50cm 土壤湿度增量的影响较小。以 2 日连续降水为例, $10.0 \leq R \leq 24.9\text{mm}$ 时, 3 个气温等级的 50cm 土壤湿度增量均小于 3%; $25.0 \leq R \leq 49.9\text{mm}$ 时, 50cm 土壤湿度增量均小于 5.5%; $R \geq 50.0\text{mm}$ 时, 50cm 土壤湿度增量均小于 5%。

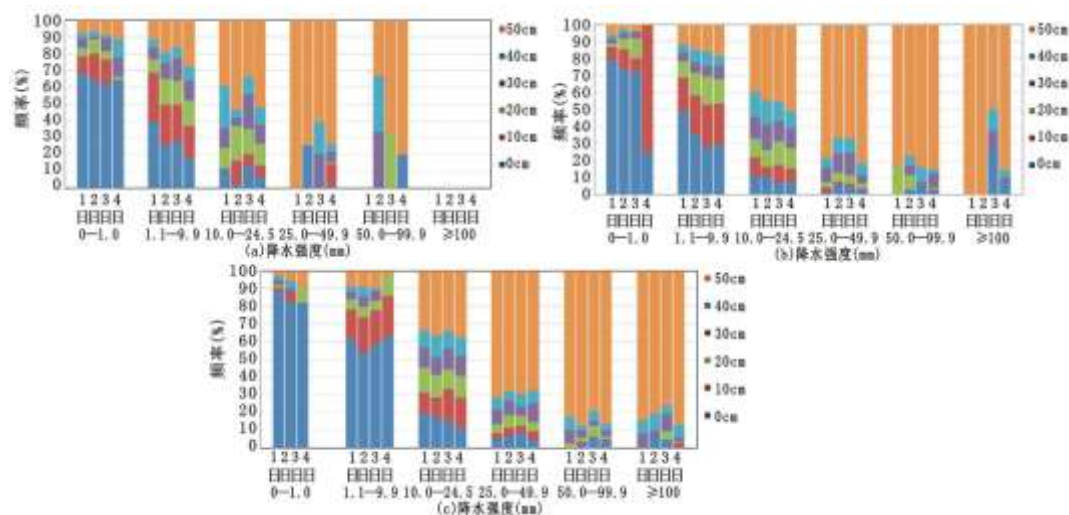


图 3 基于不同气温等级的贵州省粘壤土区域 24 种降水类型 0cm、10cm、20cm、30cm、40cm、50cm 土壤湿度变化深度频率

((a) $T < 10.0^{\circ}\text{C}$; (b) $10.0 \leq t < 20^{\circ}\text{C}$; (c) $t \geq 20.0^{\circ}\text{C}$)

表 3 贵州省粘壤土区域 10cm、20cm、30cm、40cm、50cm 土壤湿度增量统计 ($t < 10.0^{\circ}\text{C}$)

R (mm)	降水持续时间 (d)	主要变化深度 (cm)	土壤湿度增量 (%)				
			10cm	20cm	30cm	40cm	50cm
0.0—1.0	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0
1.1—9.9	1	0	0	0	0	0	0
	2	0、10	0.29—1.57	0	0	0	0
	3	0、10	0.58—3.13	0	0	0	0
	4	0、10、20	1.59—3.93	0.46—1.60	0	0	0
10.0—24.9	1	40、50	4.13—13.42	2.68—7.75	0.97—5.25	0.58—4.40	0.44—3.36
	2	50	1.31—11.34	2.72—6.65	1.07—6.06	0.46—3.78	0.50—2.98
	3	40、50	2.98—8.57	2.58—5.0	21.58—6.26	0.98—4.21	0.74—2.76
	4	50	1.99—12.86	1.94—5.21	1.50—4.15	0.82—2.90	0.58—2.54
25.0—49.9	2	50	3.64—24.35	3.38—11.53	4.30—11.96	5.90—8.39	3.20—5.85

	3	50	5.37—21.88	5.67—10.12	5.42—14.57	1.86—7.63	1.92—5.12
	4	50	3.54—19.85	2.31—10.99	1.57—7.38	0.52—6.39	1.25—4.70
50.0—99.9	2	30、40	0.76—22.19	3.23—13.00	1.5—20	2.89—7.55	0
	3	50	0.92—22.19	5.23—16.70	2.11—12.23	2.04—7.46	2.05—5.21
	4	50	0.90—21.90	5.08—13.77	2.11—13.16	1.04—8.81	2.05—6.30

表4 贵州省粘壤土区域 10、20、30、40、50cm 土壤湿度增量统计(10.0≤t<20℃)

R(mm)	降水持续时间(d)	主要变化深度(cm)	土壤湿度增量(%)				
			10	20	30	40	50
0.0—1.0	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
	4	10	0—4	0	0	0	0
1.1—9.9	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0、10	0.70—3.17	0	0	0	0
	4	0、10	1.16—3.94	0	0	0	0
10.0—24.9	1	40、50	2.15—13.96	1.22—6.98	0.86—4.99	0.61—3.60	0.57—3.36
	2	40、50	2.45—10.84	1.13—6.55	0.92—5.05	0.60—4.56	0.50—2.80
	3	40、50	1.43—7.03	0.96—4.21	0.91—3.69	0.56—3.24	0.63—2.58
	4	50	2.00—7.88	1.49—6.68	1.02—5.41	0.53—3.62	0.49—2.37
25.0—49.9	1	50	4.48—16.96	2.50—13.27	2.84—11.71	1.17—4.33	1.19—4.76
	2	50	6.12—14.39	4.07—10.40	2.19—8.40	1.42—8.33	1.28—4.85
	3	50	11.27—15.31	2.76—9.22	1.96—7.43	1.45—6.91	1.36—3.81
	4	50	3.15—17.95	1.86—10.13	1.60—8.20	1.12—6.81	0.83—4.44
50.0—99.9	1	50	3.59—16.89	3.49—13.48	4.38—11.78	4.08—9.15	0.97—4.67
	2	50	4.61—24.05	3.21—11.32	3.18—11.95	3.50—6.46	1.93—4.60

	3	50	4.00—13.75	2.25—7.00	1.74—7.13	0.92—4.67	0.98—6.77
	4	50	5.34—18.94	3.17—12.49	2.59—8.48	1.82—7.94	1.61—6.50
≥100	2	50	1.7—12	3.70—14.40	1.01—7.55	2.58—4.92	0.92—2.11
	3	50	1.16—14.00	1.86—10.55	2.01—7.37	3.91—4.62	1.92—2.17
	4	50	2.16—17.68	2.03—12.66	4.72—13.43	1.97—8.61	2.10—5.90

表 5 贵州省粘壤土区域 10、20、30、40、50cm 土壤湿度增量统计 ($t \geq 20.0^{\circ}\text{C}$)

R(mm)	降水持续时间(d)	主要变化深度(cm)	土壤湿度增量(%)				
			10	20	30	40	50
0.0—1.0	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
1.1—9.9	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0
10.0—24.9	1	50	3.37—12.42	2.57—5.41	0.49—3.57	0.00—3.06	0.08—2.23
	2	50	3.04—10.10	1.98—6.44	0.79—4.55	0.54—2.99	0.46—2.78
	3	50	1.94—7.28	0.85—4.32	0.35—2.66	0.02—1.39	0.35—1.50
	4	50	2.43—14.06	1.06—4.31	0.89—2.74	0.82—3.35	0.64—2.48
25.0—49.9	1	50	2.97—17.24	2.76—7.35	1.36—6.54	0.94—4.27	0.86—2.64
	2	50	2.87—16.39	1.84—6.39	1.68—8.03	0.65—5.54	0.81—2.27
	3	50	5.06—15.07	2.18—9.09	1.92—8.35	0.87—5.88	0.81—3.60
	4	50	3.85—20.14	2.40—9.05	1.74—6.80	0.68—4.43	0.75—3.40
50.0—99.9	1	50	4.22—13.21	1.97—11.45	0.81—10.40	0.82—9.03	0.69—4.69
	2	50	7.32—17.26	4.09—12.81	2.54—8.39	0.90—6.47	0.82—4.51
	3	50	5.04—15.03	2.88—10.47	2.00—8.89	0.60—5.37	0.63—5.26

	4	50	4.96—19.64	3.03—10.24	2.74—12.29	1.23—7.61	1.61—5.90
≥100	1	50	13.44—21.14	6.19—18.08	1.45—9.72	0.34—5.05	0.54—5.11
	2	50	4.31—19.86	1.6—14.00	2.94—24.83	2.83—14.52	3.19—4.51
	3	50	12.29—23.90	3.85—13.28	1.08—10.10	0.00—12.55	0.60—4.78
	4	50	6.05—28.02	3.59—19.00	2.54—14.35	1.32—9.94	1.33—3.78

3 结论与讨论

3.1 结论

贵州属于喀斯特地貌发育区域,降水是影响该区域土壤湿度的重要气象因子。而土壤湿度对降水的响应是一个复杂的过程,与降水强度降水持续时间、土壤类型和气温等诸多因素有关。不同强度的降水,土壤湿度变化的数值和深度不同;而相同强度的降水,持续时间不同,土壤湿度的垂直变化也不尽相同。

本文通过对贵州省 25 个自动土壤水分观测站的土壤湿度、降水和气温日资料的统计分析,得出如下主要结论:①降水持续时间不同,土壤湿度垂直分布明显不同,随降水持续时间增加,同一土层土壤湿度增量变大。10.0≤R≤24.9mm 时,1—4 日连续降水土壤湿度主要变化深度在 10—40cm、10—40cm、10—40cm 和 50cm,此时 20cm 土壤湿度增量分别为 0.09%—4.75%、0.32%—5.79%、0.40%—5.50%、0.49%—6.04%,差异原因与水分向各层传递的滞后性和水分在土壤中调蓄作用有关。②降水强度不同,降水对喀斯特区域粘壤土土壤湿度的影响不同,随着降水强度增加,土壤湿度变化的深度越深,深层土壤土壤湿度发生变化的频率越大,同一土层土壤湿度增量增大。2 日连续降水下,R≥100.0mm 时,比 R≤9.9mm 时,50cm 土壤湿度变化的频率高 72%,比 10cm 土壤湿度增量高约 10%。③气温通过影响蒸发耗散等,间接作用土壤湿度垂直变化。气温升高,同一土层土壤湿度增量减少。如在 2 日连续降水下,25.0≤R≤49.9mm 时,20cm 土壤湿度增量在 t<10.0℃、10.0≤t<20℃和 t≥20.0℃3 个气温等级下分别为 3.38%—11.53%、4.07%—9.40%、1.84%—8.39%。④深层土壤不直接接触空气,土壤湿度受地面气象条件的影响较小,而地下水补给和土壤特性对深层土壤湿度影响较大。因此,50cm 土壤湿度变化与气温关系不显著。以 2 日连续降水为例,无论气温高低,25.0≤R≤49.9mm 时,50cm 土壤湿度增量均小于 3%;R≥50.0mm 时,50cm 土壤湿度增量均小于 5%。

3.2 讨论

本文创新地将降水类型细分为不同降水强度和降水持续时间,同时参考土壤类型和气温的不同,研究发现,喀斯特区域粘壤土土壤湿度垂直分布受降水影响显著,随降水强度和降水持续时间增加,同一土层土壤湿度增量增大,而气温对 50cm 土壤湿度变化的影响较小。本文只讨论了降水对贵州分布较广的粘壤土土壤水分垂直分布的影响,而贵州省自然环境复杂、土壤类型较多,降水和气温对不同类型土壤湿度的影响有待进一步研究和探讨,以期了解喀斯特复杂地貌下土壤湿度对降水和气温的响应。

参考文献:

- [1] 马柱国,魏和林,符淙斌. 土壤湿度与气候变化关系的研究进展与展望[J]. 地球科学进展,1999,14(3):299-305.
- [2] 张文君,周天军,宇如聪. 中国土壤湿度的分布与变化 I. 多种资料间的比较[J]. 大气科学,2008,32(3):581-597.
- [3] 马柱国,魏和林,符淙斌. 中国东部区域土壤湿度的变化及其与气候变率的关系[J]. 气象学报,2000,58(3):278-287.

-
- [4] Seneviratne S I, Koster R D, Guo Z, et al. Soil Humidity Memory in AGCM Simulations: Analysis of Global Land-Atmosphere Coupling Experiment (GLACE) Data[J]. Journal of Hydrometeorology, 2006, 7(5): 1090-1112.
- [5] Cook B I, Bonan G B, Levis S. Soil Humidity Feedbacks to Precipitation in Southern Africa [J]. Journal of Climate, 2006, 19(17): 4198-4206.
- [6] 王修信, 付洁, 张晓朋, 等. 喀斯特地区气象因素日变化对不同深度土壤湿度的影响分析[J]. 广西物理, 2012, 33(4): 10-13.
- [7] 李小英, 段争虎. 黄土高原土壤水分与植被相互作用研究进展[J]. 土壤通报, 2012, 43(6): 1508-1514.
- [8] 蒋太明, 魏朝富, 谢德体. 等. 贵州中部喀斯特地区黄壤持水性能的研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 2006, 20(6): 25-29.
- [9] 秦松, 范成五, 孙锐锋. 贵州土壤资源的特点、问题及利用对策[J]. 贵州农业科学, 2009, 37(5): 94-98.
- [10] Small E E, Giorgi F, Sloan L C. Regional Climate Model Simulation of Precipitation in Central Asia: Mean and Interannual Variability [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 1999, 104(D6): 6563-6582.
- [11] Chow K C, Chan J, Shi X, et al. Time-lagged Effects of Spring Tibetan Plateau Soil Moisture on the Monsoon over China in Early Summer[J]. International Journal of Climatology, 2010, 28(1): 55-67.
- [12] 姜丽霞, 李帅, 纪仰慧, 等. 1980—2005 年松嫩平原土壤湿度对气候变化的响应[J]. 应用生态学报, 2009, 20(1): 91-97.
- [13] 左志燕, 张人禾. 中国东部夏季降水与春季土壤湿度的联系[J]. 科学通报, 2007, (14): 1722-1724.
- [14] 陈少勇, 郭凯忠, 董安祥. 黄土高原土壤湿度变化规律研究[J]. 高原气象, 2008, (3): 530-537.
- [15] 王毅荣. 黄河上游牧草区水热变化及土壤水分响应[J]. 自然资源学报, 2007, 22(2): 260-267.
- [16] 黄勇, 邱旭敏, 黄国贵. 淮河流域表层土壤湿度时空特征及其与地面降水的关系[J]. 生态环境学报, 2017, 26(4): 561-569.
- [17] 袁淑杰, 何兴潼, 何源, 等. 贵州喀斯特区域土壤湿度变化规律研究[J]. 节水灌溉, 2018, (10): 83-90.
- [18] 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(中英文), 2013, 21(10): 1225-1232.
- [19] 王硕甫, 殷美祥, 冯鑫媛. 1991—2011 年中国西南地区土壤湿度的时空特征[J]. 广东气象, 2018, 40(1): 53-57.
- [20] 马志红, 方文松, 刘学义. 不同土壤类型及测定距离下人工与自动站土壤湿度差异分析[J]. 气象与环境科学, 2016, 39(4): 43-48.

[21] 马贤惠. 贵州喀斯特地区生态环境与经济发展的重要问题——关于贵州生态农业发展与建设的思考[J]. 贵州环保科技, 2000, 6(1) : 11-15.