

近5年贵州喀斯特区域土壤湿度变化规律的研究

潘 娣, 袁淑杰, 李 蓉
(成都信息工程大学, 四川 成都 610225)

摘要:为分析贵州喀斯特区域土壤湿度的时空分布特征和变化规律,通过利用贵州省2011–2015年53个地面气象观测站的日平均降水量和53个自动土壤水分观测站日平均旱地土壤相对含水量资料,结合相关性分析和多元线性回归等方法,得到的结果如下:(1)贵州省的土壤湿度和降水量的空间分布变化较为一致。(2)根据气温和降水对贵州划分了农业气候区,春干区4、5月份和伏旱区的8、9月份都处于中旱状态,高寒区4、5月处于重旱状态,温凉农业气候区和湿润农业气候区的土壤湿度值则较高。(3)贵州省土壤开始增湿的时间存在着地区差异,大致上从20 cm开始向深层每隔一定深度开始增湿的时间向后推迟1旬左右,且浅层土壤湿度不如深层土壤湿度稳定。(4)降水和气温是影响土壤湿度的主要因素,一般土壤湿度与降水呈较为显著的正相关关系,与气温呈显著负相关,并根据其相关程度建立了数学模型,定量说明了降水和气温相互制约的影响着土壤湿度的变化。

关键词:气象学;应用气象学;贵州省;喀斯特区域;土壤湿度;数学模型

0 引言

土壤水分对土壤–植物–大气的水分过程和生物过程有显著作用,是地气之间的水分和能量通量的关键参数^[1],土壤湿度与气候变化之间是相互影响的^[2–4]。

贵州地属西南喀斯特地区,就西南喀斯特区域这一独特环境单元来讲,它生态脆弱且地势格局较为复杂,海拔梯度也较大^[5–6]。前期研究和实践经验表明,喀斯特区域可溶岩成土速率缓慢,土层比较浅薄,土壤蓄水能力极其有限,保水能力差,因此喀斯特地区土壤水分的变化深受气象要素的制约与影响^[7–8],土壤水分作为影响喀斯特地区作物生长的主要因子,其受到气象要素影响规律的研究就显得尤为重要,这不仅能够加深对土壤水分变化的认识,而且对人类生活也有一定的意义。

近年来,西南喀斯特区域持续干旱,导致农作物减产、生态环境受损,土壤水分的研究对于喀斯特区域的农业产业化布局和生态恢复等有着重要的作用,并且其作为干旱的重要指标,也一直受到防灾减灾领域的关注。

1 研究区地理位置和资料选取

贵州位于云贵高原,东边靠近湖南,西邻云南,南边靠近广西,北边连着四川和重庆,属于亚热带季风气候,四季的降水形态特殊。冬半年,由于云贵准静止锋的影响,多持续性阴雨天气,日降雨量小但持续时间长、日照少、气温低,土壤水分往往呈现饱和状态;而夏半年,降水形态多为过程性降水,同时往往又呈现时空分布的不均匀性,喀斯特区域土壤水分往往伴随降雨天气过程而成振荡变化,并且由于喀斯特区域土壤的蓄水和保水的能力比较差,往往容易导致干旱发生。

由于土壤湿度的观测站点少,并且有很多是近几年新建的站,所以我们选取了从2011–2015年的53个自动土壤水分观测站进行研究,首先会根据农业气候区划图进行分区,然后对各区土壤湿度气候变化进行分析。并且从这53个地面气象观测站中选区从2011–2015年的日气温和日降水资料,计算它们与土壤湿度的相关系数,然后分析气温和降水对土壤湿度的影响。

相关统计量的计算方法,土壤湿度用旱地土壤相对含水量(%)表示:

$$\text{旱地土壤相对含水量}(\%) = \left[\frac{\text{土壤含水量}(\text{g}/\text{cm}^3)}{\text{田间持水量}(\text{g}/\text{cm}^3)} \right]$$

2 农业气候分区

如图1所示贵州省根据气温被分以下5个农业气候区:Ⅰ温热农业气候区;Ⅱ温暖农业气候区;Ⅲ温和农业气候区;Ⅳ温凉农业气候区;Ⅴ高寒农业气候区,然后根据土壤湿度又将Ⅰ温热农业气候区划分为Ⅰa春干区和Ⅰb湿润区;而Ⅱ温暖农业气候区根据土壤湿度则划分为Ⅱa伏旱区和Ⅱb湿润区;将Ⅲ温和农业气候区划分为Ⅲa伏旱区、Ⅲb湿润区和Ⅲc春干区。



图1 贵州省综合农业气候区划图

3 土壤湿度的空间变化

3.1 降水与土壤湿度的空间分布

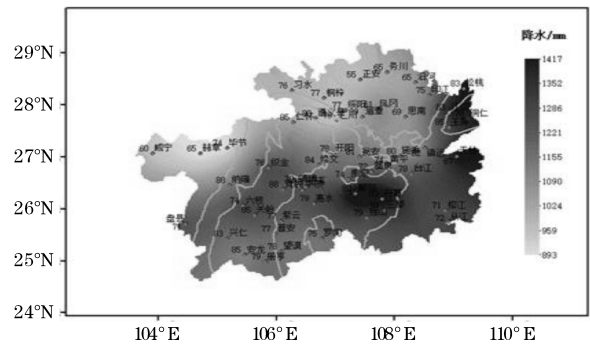


图2 贵州省2011–2015年降水和0~100 cm土壤湿度空间分布图(实线代表土壤湿度)

贵州省的降水量和旱地土壤相对含水量(即土壤湿度)的空间分布变化较为一致(图2),由图2可以看出,2011–2015年降水量是在879~1244 mm之间变化,土壤湿度基本在55%~89%之间,贵州的西面和北面降水相对偏少,对应到农业区划图中是高寒区和温和农业气候区的伏旱区降水偏少,所以其土壤湿度也相对偏低,而东边和南边的降水量相对较大,对应到农业区划图中是温暖农业气候区的湿润区和温和农业气候区的湿润区降水偏多,其土壤湿度的值就相对较高。

3.2 土壤湿度的空间分布

从图3可以看出,土壤湿度的分布主要有3个低值中心分别在贵州的省得东北部、西部和东南边,这3个低值中心与图1的气候区划图相对应的是Ⅲa温和农业气候伏旱区、V高寒农业气候区和Ⅱa温暖农业气候伏旱区;而Ⅱb温暖农业气候湿润区、Ⅲb和Ⅲc温和农业气候的湿润区和春干区的土壤湿度则相对较高。

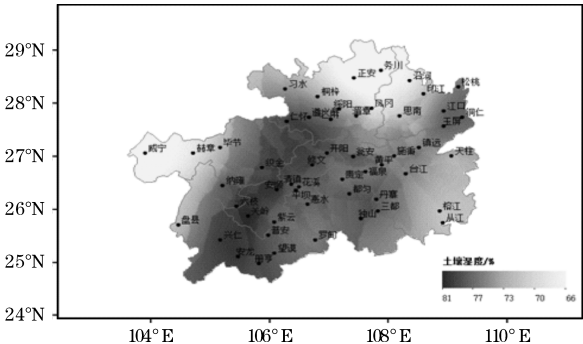


图3 2011–2015年0~50 cm土壤湿度的空间分布图

3.2.1 伏旱区

(1)温和农业气候伏旱区(Ⅲa)年降水量为995~1114 mm,0~50 cm年均土壤湿度为56%~86%,由贵州省在15年9月实施的贵州省干旱标准中的按土壤相对湿度等级划分可知,Ⅲa区夏季的浅层土壤湿度部分站主要在50%~60%之间变化,属于轻旱等级;尤其是该区中的正安站夏季浅层土壤湿度的变化主要在30%~50%之间是中旱等级。

(2)温暖农业气候伏旱区(Ⅱa)0~50 cm年均土壤湿度在60%~80%之间,年降水量是1132~1416 mm,而夏季土壤湿度相对其他时期的土壤湿度比较低,尤其是天柱,天柱的夏季浅层平均土壤湿度50%~60%,属于轻旱等级。该区域降水量较高但土壤湿度并不高,可能是由于气温较高,土壤蒸发大,且喀斯特土壤蓄水能力差,水分迅速下渗造成的。

3.2.2 其他区

高寒和温凉农业气候区(V、Ⅳ)年降水量在879~1282 mm之间;温暖农业气候湿润区(Ⅱb)的年降水量在1012~1423 mm之间;温和农业气候湿润区(Ⅲb)年降水量范围是1064~1559 mm;他们的0~50 cm年均土壤湿度均大于60%。温和农业气候春干区(Ⅲc)年降水量的范围为1053~1236 mm;温热农业气候春干区(Ⅰa)的年降水量在1053~1236 mm之间,其0~50 cm年均土壤湿度都在70%~85%。

3.3 土壤湿度垂直变化

代表站的选取:将各区中的每一个站和本区中其他站相对湿度的相关系数计算得出,然后求出每个站的平均相关系数,将每一个区的代表站定为该区平均相关系数最大的站,最终选取的代表站是:册亨、从江、施秉、汇川、丹寨、关岭、纳雍、威宁,绘制各代表站10~100 cm月土壤湿度图(图4),贵州植物的生长期主要在4–9月,所以选取各区4–9月的土壤湿度的垂直变化进行分析。

春干区(图4a,4b):关岭站春季4、5月份土壤湿

度的值较低,尤其是在 4 月 10 cm 层的土壤湿度的范围只有 45% ~ 60%,处于干旱的状态;册亨站春季 4、5 月与关岭相似,其土壤湿度值也比较低,10 cm 和 20 cm 的土壤湿度一般在 40% ~ 50% 之间,处于中旱的状态,由于土壤表面比较干燥,植物叶片在白天就容易萎蔫,不利于植物的生长。

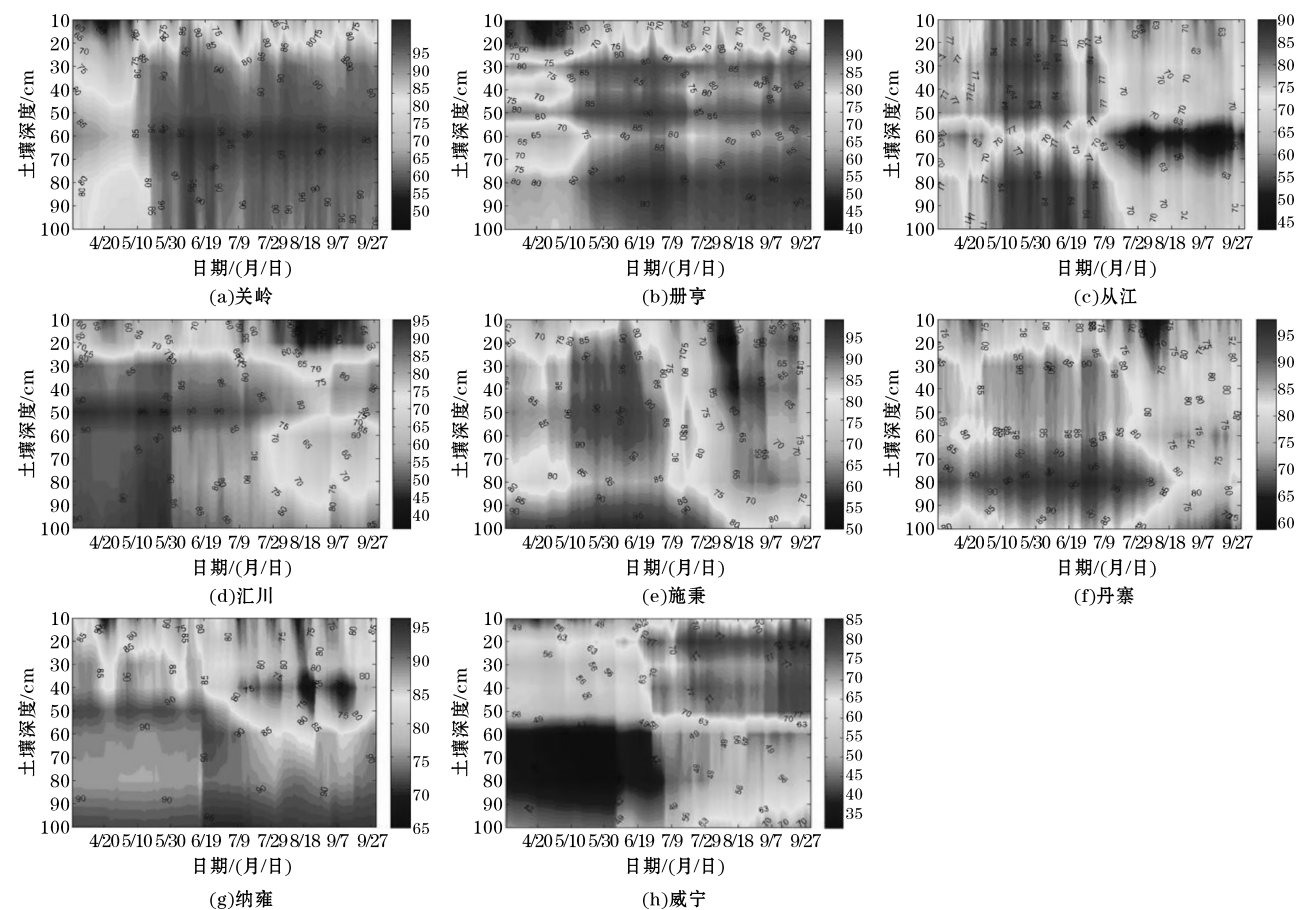


图 4 中国贵州不同气候区代表站 2011~2015 年 10 ~ 100 cm 土壤湿度图

伏旱区(图 4c,4d):随着夏季降水的增多,5、6 月份的土壤湿度就有所增加,但在 8、9 月份由于降水的减少,并且气温相对较高,蒸发较大,各层土壤湿度也就有所降低,尤其是汇川站,8、9 月 10 cm 和 20 cm 的土壤湿度在 40% ~ 50%,对作物的生长十分不利。

湿润区和温凉区(图 4e,4f,4g):各层土壤湿度整体都相对较高,8、9 月土壤湿度相对其他各月有所降低但并不干旱。

高寒区(图 4h):4、5 月份土壤湿度处于干旱状态,尤其是深层土壤湿度只有 30% ~ 40% 处于重旱状态,可能会导致该地区的土壤出现较厚的干土层,从而使得植物逐渐萎蔫,更甚者则会导致果实脱落,6 月下旬以后随着降雨的增多,50 cm 以上的土壤湿度增加到 70% ~ 80% 之间,50 cm 以下的土壤水分虽然因为降雨量的增加而得到了一定的补充,但其土壤依然处于轻旱状态。

贵州地处西南部,为亚热带季风气候,所以其降水的季节分布易呈现不均匀的状态,从而会使贵州地区

季节性的旱涝现象发生,夏季贵州受到南亚季风的影响降水量会增加,但在非季风期就容易出现干旱;由于西太平洋副热带高压的进退和南亚高压存在着相互制约关系^[9-10],当西太平洋副高偏强偏西偏北时,会使得贵州受到影响,从而会盛行下沉气流,从而抑制了水汽输送向贵州,导致了降水的明显减少较为明显,甚者则会使贵州地区发生特大干旱;在全球变暖的大环境下,可能会使北半球中纬度地区变干旱^[11-13];并且喀斯特地貌造成了地表水的渗漏,土壤的蓄水能力差,生态系统的稳定性和抗干扰性差^[14-15],更容易发生干旱。

4 土壤湿度的月变化

以关岭、汇川、施秉站为例,由图 5 可知,4~9 月 10 cm 土壤湿度从 4 月底开始逐渐增加,然后从 6 月中旬开始下降趋势,月际变率增大,且偏西南的关岭比偏北的汇川和偏东的施秉的月际振动大。深层 100 cm 湿度关岭站是从 5 月中旬开始有上升趋势;汇川从 5 月

底开始降低之后从 8 月底开始上升;而施秉站是从 7 月底开始下降,且月际变化小。总的来说浅层的土壤湿度不如深层的土壤湿度稳定。

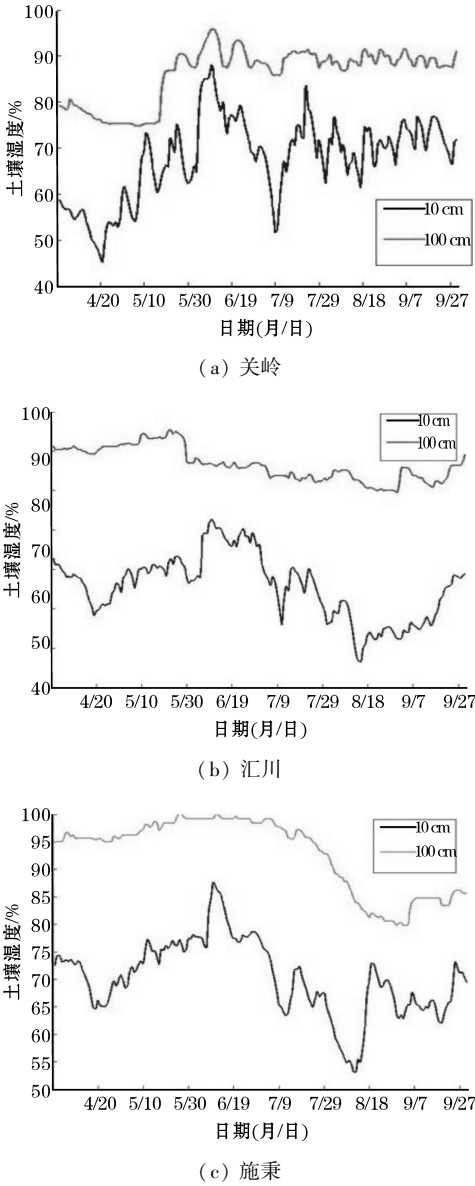


图 5 2011–2015 年 4–9 月不同深度土壤湿度季节性变化

4–9 月 10 ~ 100 cm 各层土壤湿度升降的转换时间虽然有所不同,但各层土壤湿度的季节性变化有一定的规律,大体上呈先升后降再升的“N”型结构。关岭 10 ~ 20 cm 层土壤湿度在 4 月中旬出现最小值,30 ~ 50 cm 的最小值在 4 月底,60 ~ 100 cm 则是在 5 月上旬有最小值;汇川和施秉 10 ~ 20 cm 在 8 月中有最小值出现,30 ~ 50 cm 的最小值在 8 月底,60 ~ 100 cm 则是在 9 月上旬出现最小值。总的来说关岭,汇川和施秉 3 个站从浅层到深层,一般各层的土壤湿度大致上从 20 cm 开始向深层每隔一定深度开始增湿的时间向后推迟 1 旬左右,这种现象是由于水分入渗需要一定的时间,深层土壤增湿就相对滞后所致。

5 土壤湿度与降水和气温的关系

土壤湿度主要是受降水和气温的影响,因此贵州省的土壤湿度会随着降水量与气温的年际和季节变化而出现年际和季节的变化。

5.1 土壤湿度与降水的关系

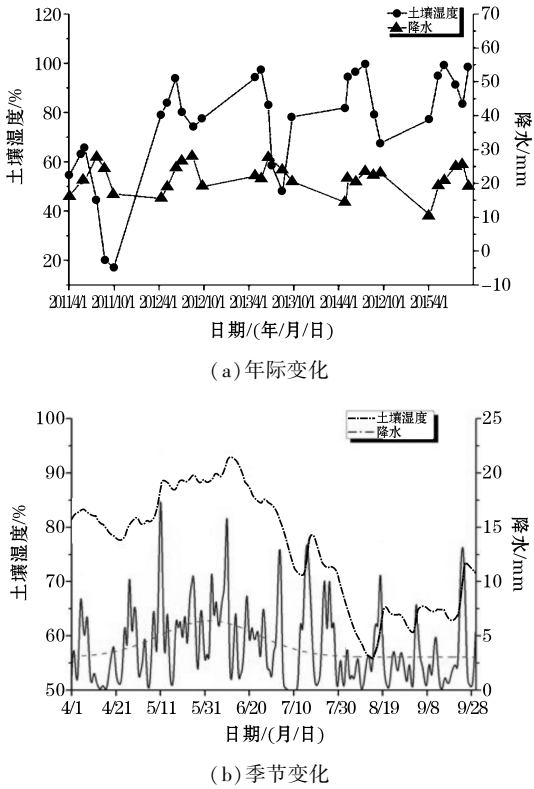


图 6 施秉站 2011–2015 年 4–9 月 10 ~ 50 cm 土壤湿度和降水量

以贵州西南的关岭,北边的汇川和东边的施秉站为例,先分析壤湿度受降水的年际影响(图 6 只给出施秉站)。由图 6(a)可知,施秉站 2011–2015 年作 4–9 的土壤湿度和降水量整体是上升的,而且土壤湿度的增加相对滞后于降水,两者之间的相关系数 $r = 0.1595$;汇川 2011–2015 年 4–9 月土壤湿度和降水量的相关系数 $r = 0.1424$;关岭 2011–2015 年 4–9 月土壤湿度和降水量的相关系数 $r = 0.1950$,关岭、汇川和施秉 3 站的相关系数均通过了 99% 的信度检验,且关岭站的相关系数更大,所以其相关性更加密切。

然后分析 4–9 月各月的 5 年平均降水量和 10 ~ 50 cm 平均土壤湿度的关系,施秉站 4 月降水较少,土壤湿度有所下降,之后土壤湿度随着 5、6 月降水的增多也逐渐增加且达到最大值,7、8 月份降水量稍有减少且气温持续偏高(由图 7b 可知),所以土壤湿度迅速降低(图 6b),汇川与施秉站情况相似。关岭站 4、5 月份降水少,土壤湿度低,从 5 月底降水开始增多,6–

9 月降水均较多,所以土壤湿度也是从 5 月底开始增加,6–9 月土壤湿度相对较高且较稳定(图略)。

表 1 施秉月土壤湿度和月降水的相关系数

	H4	H5	H6	H7	H8	H9
R4	***0.2269	-0.0760	-0.3651	-0.1277	***0.2784	***0.4549
R5		***0.3274	0.0054	-0.3261	-0.1631	***0.2095
R6			***0.1933	*0.1615	0.0274	-0.1757
R7				*0.1197	-0.0151	0.0861
R8					-0.1895	-0.0682
R9						***0.2518

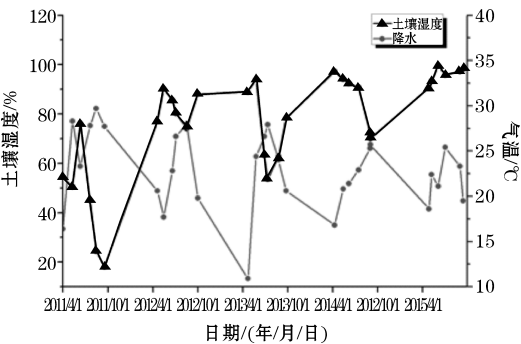
注:***, **, * 分别是通过 99%, 95%, 90% 信度检验;H 和 R 分别代表月平均土壤湿度和月降水量

由表 1 可知,降水主要影响当月浅层土壤(10 ~ 50 cm)的土壤湿度(表 1 只给出施秉站),但施秉 8 月份例外,由于 7、8 月份降水急剧减少,而且温度持续较高,土壤水分迅速蒸发,因为温度的影响远大于降水,所以导致 8 月的土壤湿度与降水不相关,汇川的 8、9 月与其情况类似,而关岭站 4 月的降水极少,所以受降水的影响极少,导致了与降水不相关。

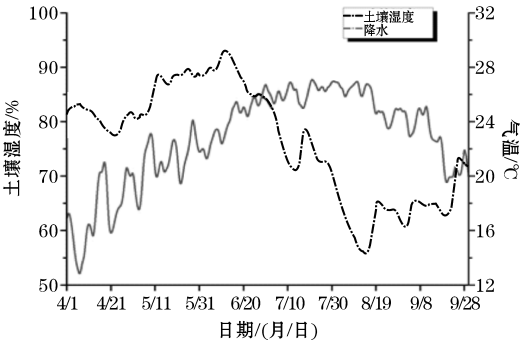
5.2 土壤湿度与气温的关系

以贵州北边的汇川和东边的施秉为例,首先分析土壤湿度的年际变化受温度的影响(图 7 只给出施秉站)。由图 7a 可知,施秉站 2011–2015 年 4–9 月的气温与土壤湿度之间有良好的相关性,气温增高,土壤湿度就会降低,反之就会增高,两者之间的相关系数 $r = -0.22873$,通过 99% 的信度检验。汇川 2011–2015 年 4–9 月的气温和土壤湿度的相关系数 $r = -0.2388$,同样通过 99% 的信度检验。而关岭站由于 4–9 月气温变化不大且相对比较稳定,受降水的影响极大,所以导致了土壤湿度的变化与气温不相关,所以不做分析。

然后分析 4–9 月各月的 5 年平均气温和 10 ~ 50 cm 平均土壤湿度的关系,施秉站 4–5 月气温较低,土壤湿度相对较高且比较稳定,6–8 月气温持续较高,土壤湿度急剧下降,9 月气温有所降低,土壤湿度也随之有所上升(图 7b),汇川站与施秉站情况类似(图略)。



(a) 年际变化



(b) 季节性变化

图 7 施秉站 2011–2015 年 4–9 月气温与 10 ~ 50 cm 土壤湿度

由表 2 可知,气温主要影响当月浅层土壤的土壤湿度(表 2 只给出施秉站),但施秉站的 5 月例外,由表 1 可知 5 月土壤湿度与降水是极相关的关系,而且从图 6 可以看出 5 月降水最多,但 5 月的气温并不高,所以降水的影响就远大于气温的影响,而导致 5 月土壤湿度因受降水的影响而与气温不相关。汇川的 5 月和 8 月与施秉情况类似。

由上述分析可知,影响土壤湿度的主要因素有降水和气温,在降水增多,且气温较低的情况下,降水能够充分的补给土壤水分,而且土壤的蒸发较少,从而使土壤中的水分收入大于消耗,土壤湿度增加,使植被的生长环境更加适宜;在气温持续较高且降水减少的情况下,降水对土壤储水的补给会降低,导致土壤水资源因过度消耗而干旱,贵州喀斯特地貌本身的储水能力就差,这种持续高温的情况更会加剧土壤的干旱化,影响到农作物的生长,甚者使作物减产。

5.3 土壤湿度与气温和降水的数学模型

以贵州北边的汇川和东边的施秉 2 站为例,由于关岭站的 4–9 月气温变化不大且相对比较稳定,受降水的影响极大,所以导致了土壤湿度的变化与气温不相关,所以不做分析。对 2011–2015 年土壤湿度,平均气温和降水的 4–9 月的日平均值进行线性拟合。

表 2 施秉月土壤湿度和月气温的相关系数

	H4	H5	H6	H7	H8	H9
T4	***-0.4306	0.5260	***-0.3690	** -0.1739	0.0555	0.2890
T5		0.3516	***-0.2531	***-0.4435	-0.0590	0.4327
T6			***-0.5915	***-0.5946	-0.0109	0.6236
T7				***-0.4596	0.1860	0.2655
T8					***-0.4614	***-0.6181
T9						***-0.4272

注:***, **, * 分别是通过 99%, 95%, 90% 信度检验;H 和 T 分别代表月平均土壤湿度和月气温

表 3 施秉 2011-2015 年 4-9 月的月气温和月降水与土壤湿度数学模型和相关参数

数学模型	F 值	决定系数 R ²	相关系数 r	平均气温的 T 值	降水的 T 值
$Y_1=97.139-1.016X_1+0.578X_2$	***19.631	0.179	0.423	***-4.974	***3.544

注:***, ** 分别是通过 99%, 95% 信度检验;Y₁ 是土壤湿度,X₁ 是月气温,X₂ 是月降水

表 4 汇川 2011-2015 年 4-9 月的月气温和月降水与土壤湿度数学模型和相关参数

数学模型	F 值	决定系数 R ²	相关系数 r	平均气温的 T 值	降水的 T 值
$Y_2=88.828-0.762X_1+0.204X_2$	***26.825	0.23	0.479	***-6.904	**2.521

注:***, ** 分别是通过 99%, 95% 信度检验;Y₁ 是土壤湿度,X₁ 是月气温,X₂ 是月降水

通过表 3、4,能够得到土壤湿度与降水呈现较为显著的正相关关系,与平均气温呈较为显著负相关关系,且汇川站受气温的影响比施秉站大的多,而施秉站受降水的影响比汇川站大,根据表中所给出的数学模型则可以得到降水和气温与土壤湿度之间相互制约的定量变化。

6 结论

- (1)贵州省的土壤湿度和降水量的空间分布变化较为一致,贵州的西面和北面降水相对偏少,其土壤湿度也相对偏低;并且降水量较高的南边和东边的地区也同样具有这样的一致性。
- (2)根据气温和降水对贵州划分了农业气候区,其中伏旱、春干和高寒区土壤表现出季节性的缺水,春干区 4、5 月份和伏旱区的 8、9 月份都处于中旱状态,高寒区 4、5 月处于重旱状态,即使 6 月后随着降水的增多土壤水分得到了补给,但其土壤湿度仍处于轻旱状态;而温凉农业气候区和湿润农业气候区的土壤湿度值较高。
- (3)贵州省的土壤湿度的变化规律是:土壤开始增湿的时间存在着地区差异,从浅层到深层,一般各层的土壤湿度大致上从 20 cm 开始向深层每隔一定深度开始增湿的时间向后推迟 1 旬左右,这是由于水分入渗需要一定的时间,深层土壤增湿就相对滞后所致,且浅层土壤湿度不如深层土壤湿度稳定。
- (4)降水和气温是影响土壤湿度的主要因素,一

般情况下土壤湿度与降水呈较为显著的正相关关系,与气温呈显著负相关,但当降水量变大而气温变化不大时,土壤湿度会因为受到降水的影响而与气温不相关;同理当气温持续高温或变化较大而降水极少时,则会影响土壤湿度与降水的相关性,并建立数学模型定量说明了降水和气温相互制约的影响着土壤湿度的变化。

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):88-94.

[2] 刘树华. 土壤-植被-大气系统水分散失机理的数值模拟[J]. 干旱气象,2004,22(3):1-9.

[3] 马柱国. 土壤湿度与气候变化关系研究中的某些问题[J]. 地球科学进展,2001,16(4):563-568.

[4] 王胜,张强,卫国安,等. 降水对荒漠土壤水热性质强迫研究[J]. 高原气象,2004,23(2):253-258.

[5] 李阳兵,王世杰,熊康宁. 浅议西南岩溶山地的水文生态效应研究[J]. 中国岩溶,2003,22(1):24-27.

[6] Perrin J,Jeannin P Y,Zwahlen F. Epikarst. Storage in a karst aquifer:a conceptual model based on isotopic data,Milandre test site, Switzerland[J]. Journal of Hydrology,2003,279(1-4):106-124.

- [7] 王思砚,苏维词,范新瑞,等.喀斯特石漠化地区土壤含水量变化影响因素分析—以贵州省普定县为例[J].水土保持研究,2010,17(3):171-176.
- [8] 李孝良,陈效民,周炼川,等.西南喀斯特石漠化过程对土壤水分特性的影响[J].水土保持学报,2008,22(5):198-203.
- [9] 陶诗言,朱福康.夏季亚洲南部100毫巴流型的变化及其与太平洋副热带高压进退的关系[J].气象学报,1964,34(4):385-395.
- [10] 张琼,吴国雄.长江流域大范围旱涝与南亚高压的关系[J].气象学报,2011,59(5):569-577.
- [11] Manabe S, R T Wetherald, R J Stouffer. Summer dryness due to an increase of atmospheric CO_2 concentration[J]. Climatic Change, 1981, (3): 347-386.
- [12] Mitchell J F B, D A Warrilow. Summer dryness in northern mid-latitudes due to increased CO_2 [J]. Nature, 1987, 330: 238-240.
- [13] Wetherald R T, S Manabe. Detectability of summer dryness caused by greenhouse warming[J]. Climatic Change, 1999, 43: 495-511.
- [14] Peng W X, Wang K L, Song T Q, Zeng F P, et al. Controlling and restoration models of complex degradation vulnerable karst ecosystem [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(2): 811-820.
- [15] Lan A J, Zhang B P, Xiong K N, et al. Spatial pattern of the fragile karst environment in southwest Guizhou province [J]. Geographical Research, 2003, 22(6): 733-741.