

贵州温暖湿润农业气候区土壤 湿度与气象因子关系研究

祖坤 漆定梅 张碧 常姝婷 袁淑杰

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川成都 610225;

2. 成都市环境保护科学研究院, 四川成都 610072)

【摘要】土壤湿度是揭示地表水分变化过程最为直接的参数,对气候变化起着非常重要的作用,同时影响着农作物的产量。气象因子与土壤湿度关系密切,对土壤湿度的变化起着决定性作用。开展贵州省温暖湿润农业气候区土壤湿度与气象因子关系研究,对深入认识和了解该区域土壤水分变化具有重要的意义。利用贵州温暖湿润农业气候区 2011-2015 年逐日日平均土壤温度、风速、日照时数、降水量、空气湿度、土壤湿度等气象资料,运用统计方法,分析了不同条件下 1 月、4 月、7 月土壤温度、风速、辐射与土壤湿度的关系。结果表明:①降水量和空气湿度不同,土壤温度、风速、辐射与土壤湿度关系不同。②当降水量和大气湿度相对较少时,如果土壤温度升高,风速、辐射增加,土壤湿度降低。

【关键词】贵州温暖湿润农业气候区;土壤湿度;气象因子

【中图分类号】P463.23;X16 **【文献标识码】**A

【文章编号】1005-8141(2017)02-0165-04

土壤湿度是揭示地表水分变化过程最为直接的参数,对气候变化起着非常重要的作用。土壤湿度作为气候变化研究中的一个重要的物理量,一直受到人们的重视。气候异常变化和极端天气的出现都与土壤湿度的异常变化有关,土壤湿度还影响农作物的产量。气象因子与土壤湿度关系密切,对土壤湿度变化起着决定性作用。国内外学者对两者之间的关系已进行了许多研究。方文松等利用南阳市 1981—2001 年的气象观测资料和土壤湿度资料,得出土壤湿度与各季气温变化呈明显的负相关,与降水量呈明显正相关;程善俊等利用 1948—2010 年黄土高原半干旱区气温、降水和土壤湿度资料,得出土壤湿度和降水呈正相关关系,且相关性随深度增加而逐渐减小,与气温呈负相关关系,深层相关性大于表层;邓文君等利用 1965-2005 年美国 NASA10cm 土壤浅层月平均土壤湿度资料和中国南方 168 个站点降水资料,得出 10cm 土壤湿度与降水成正相关关系;姜丽霞等利用黑龙江 32 个农业气象站 1980—2005 年作物生长季的旬土壤湿度、月平均气温和月降水资料,得出作物生长季内表层土壤湿度与气温呈极显著负相关关系,与降水呈极显著正相关关系,以气温更为显著;王磊等利用中国西北区西部 7 个农业试验站 1981-2001 年 0-40cm 的土壤湿度、降水、气温、水面蒸发和相对湿度观测资料得出土壤湿度和气候因子之间存在相互响应的关系,土壤湿度与气温普遍存在负相关,土壤湿度与降水之间总体响应不明显;王丹等采用 1984—2007 年黑龙江省 73 个气象观测站的气温、降水数据和 13 个土壤湿度观测站土壤观测数据,利用 EOF、相关分析等数理分析方法,

对黑龙江省土壤湿度与气温、降水量之间的关系进行了研究，得出不同区域土壤湿度与气温、降水量之间的关系不同；Seyfried 等对森林土壤湿度与蒸发的关系进行了研究与讨论，并建立了相关模型；马志红利用相关分析、趋势倾向率分析等方法，分析了郑州市近 30 年土壤湿度与气温、降水的关系，得出各季节影响土壤湿度的主要因子不同，春季气温是影响土壤湿度变化的主要限制因子，夏秋两季主要受降水变化影响，冬季受气温的影响大于降水的影响。

本文在借鉴前人研究的基础上，运用 2011—2015 年贵州省温暖湿润农业气候区土壤湿度及气象因子逐日自动观测资料，分析气象因子对土壤湿度的影响，对更深入地认识和了解该区域土壤水分变化具有十分重要的意义。

1 研究区域概况

贵州省属温暖湿润的农业气候区，主要是指铜仁地区。铜仁地区位于贵州高原东部、武陵山区腹地，属亚热带温暖湿润性季风型气候，常年年平均气温在 15℃左右，平均年降水量在 1000-1400mm，年平均相对湿度在 86%左右，光照条件较差。本文选取贵州省铜仁、施秉两个农业气象观测站进行土壤湿度与气象因子关系研究。

2 资料来源和研究方法

2.1 资料来源

本文所用资料均来自贵州省气象局的铜仁、施秉两个农业气象观测站观测资料，包括 2011-2015 年逐日日平均土壤温度、风速、日照时数、降水量、空气湿度和土壤湿度（土壤湿度指 0-10cm 的相对湿度）。

2.2 研究方法

滑动平均法：对样本量为 n 的序列 X，其滑动平均序列表示为：

$$x_j = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K x_{i+j-1} \quad (j = 1, 2, \dots, n - k + 1) \dots\dots (1)$$

式中,k 为滑动长度。

相关分析法:将自变量与因变量做相关性分析,得到相关系数 r,判断相关性是否通过显著性检验。

回归分析法:对数据进行拟合分析,根据数学模型拟合后的系数,分析拟合结果的优劣,得到拟合度较好的数学模型。

太阳总辐射模型:根据前人研究结果,太阳总辐射可表示为^[9]:

$$Q = Q_0 \times (a + b \times s) \dots\dots\dots (2)$$

式中,a、b 为经验系数,s 为日照百分率,Q₀ 为某地某地水平面得到的天文辐射,计算公式为:

$$Q_0 = \frac{T}{\pi} \left(\frac{1}{\rho} \right)^2 I_0 (\omega_s \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s) \dots\dots\dots (3)$$

式中,T 为一天时间(24 * 60 * 60s);($\frac{1}{\rho}$)² 为日地距离订正系数,I₀ = 1367W/m² 为太阳常数;ω_s 为水平面日没时角,计算公式为:

$$\omega_s = \arccos(-\tan \varphi \tan \delta) \dots\dots\dots (4)$$

式中,φ 为该地纬度,δ 为太阳赤纬。本文辐射均指太阳总辐射。

3 土温、风速、辐射与土壤湿度的关系

气象要素对土壤湿度的影响有一定的滞后性。即某日土壤湿度并不与当日气象要素有关,而是与前几日或前几十日气象要素滑动平均值相关性更好,不同气象要素滑动天数也会不同。刘丽霞等研究表明,40 天滑动累积降水量和 10 天滑动平均大气湿度与土壤湿度相关性较好。因此,本文中降水量指 40 天滑动累积降水量,大气湿度指 10 天滑动平均大气湿度、土壤温度、风速、辐射均指滑动平均值。

3.1 施秉土温、风速、辐射与土壤湿度关系

我们对施秉 2011-2015 年逐日平均土壤温度、平均风速、辐射分别进行不同日数滑动平均并与土壤湿度做相关性分析,表 1 中相关系数(r 值)越大,两者相关性越好;负值表示负相关,结果见表 1。从表 1 可见,逐日平均土壤温度 40 天滑动平均值、平均风速 15 天滑动平均值、辐射 20 天滑动平均值与土壤湿度的相关系数最大,即相关程度最好,本文分别对 1 月、4 月、7 月建立回归方程进行讨论。

表 1 施秉日平均土壤温度、风速、辐射滑动日数与土壤湿度的相关系数(r 值)

气象要素/滑动日数	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
土壤温度	-0.5510	-0.4220	-0.6430	-0.5210	-0.5750	-0.6980	-0.6810	-0.7290	-0.7120	-0.5980	-0.5440
风速	-0.3143	-0.3352	-0.3892	-0.3485	-0.3324						
辐射	-0.2180	-0.3150	-0.2990	-0.3640	-0.3250	-0.2980	-0.1790	-0.2010			

1月土温、风速、辐射与土壤湿度的关系：施秉2011-2015年1月降水量较其他月偏少。表2为降水量40天滑动累积值（简称“降水量”）小于30mm、大气湿度10天滑动平均值（简称“大气湿度”）70%-85%、土壤温度、风速、辐射分别进行40天滑动平均、15天滑动平均、20天滑动平均与土壤湿度的回归模型和相关系数，均通过0.05水平的显著性检验，其中辐射与土壤湿度相关程度最高。土壤温度40天滑动平均值与土壤湿度呈正相关；风速15天滑动平均值、辐射20天滑动平均值与土壤湿度呈负相关。即土壤温度升高、土壤湿度增加；风速、辐射增加，土壤湿度降低。

表2 施秉土温、风速、辐射与土壤湿度关系(2011—2015年1月)

项目	数学模型	拟合度 R^2	相关系数 r	显著性
土壤温度(t)	$y = 80.42 + 8.8t - 0.2t^2$	0.6730	0.5892	**
风速(w)	$y = 8.51 + 28.56w - 2.64w^2$	0.5564	-0.3632	**
辐射(q)	$y = 102.79 - 3.019q$	0.4856	-0.6188	**

注：**表示通过0.05水平的显著性检验,表3—6、表8—12同。

4月土温、风速、辐射与土壤湿度的关系：施秉2011年4月降水比2012—2015年4月偏少，处于干旱情况。表3为施秉2011年4月降水量在30-50mm、大气湿度70%—85%、土壤湿度30%以下时，土壤温度40天滑动平均值、风速15天滑动平均值、辐射20天滑动平均值与土壤湿度的回归模型和相关系数。土壤温度、风速、辐射与土壤湿度的相关性均通过了0.05水平的显著性检验，土壤温度与土壤湿度相关性最高；土壤温度40天滑动平均值、风速15天滑动平均值、辐射20天滑动平均值均与土壤湿度呈负相关。即如果土壤温度升高、风速、辐射增加，土壤湿度降低。

表3 施秉土壤温度、风速、辐射与土壤湿度关系(2011年4月)

项目	数学模型	拟合度 R^2	相关系数 r	显著性
土壤温度(t)	$y = 114.83 - 22.89t + 1.2t^2$	0.8594	-0.9262	**
风速(w)	$y = -36.906 + 93.925w - 37.78w^2$	0.6892	-0.7187	**
辐射(q)	$y = 46.174 - 3.5078q$	0.4989	-0.5860	**

施秉2012-2015年4月降水量较2011年偏多。表4为降水量在150-300mm、大气湿度75%-90%、土壤湿度70%-100%、土壤温度40天滑动平均值、风速15天滑动平均值、辐射20天滑动平均值与土壤湿度的回归模型和相关系数。土壤温度、风速、辐射与土壤湿度相关性均通过0.05水平的显著性检验，土壤温度与土壤湿度的相关程度最好。土壤温度40天滑动平均值、风速15天滑动平均值、辐射20天滑动平均值与土壤湿度呈负相关。即如果土壤温度升高、风速、辐射增加，土壤湿度降低。

表4 施秉土壤温度、风速、辐射与土壤湿度关系(2012—2015年4月)

项目	数学模型	拟合度 R^2	相关系数 r	显著性
土壤温度(t)	$y = 34.899 + 14.284t - 0.8553t^2$	0.7653	-0.8106	**
风速(w)	$y = 206.61 - 123.802w + 36.59w^2$	0.4620	-0.6415	**
辐射(q)	$y = 113.229 - 20602q$	0.4819	-0.7014	**

7月土温、风速、辐射与土壤湿度的关系：施秉2011年7月降水量较2012-2015年7月偏少。表5为降水量在150-250mm、大气湿度65%-80%、土壤湿度20%-60%、土壤温度40天滑动平均值、风速15天滑动平均值、辐射20天滑动平均值与土壤湿度的回归模型和相关系数。土壤温度、风速、辐射与土壤湿度的相关性均通过0.05水平的显著性检验，其中土壤温度与土壤湿度的相关程度最好。土壤温度40天滑动平均值、风速15天滑动平均值、辐射20天滑动平均值与土壤湿度呈负相关。即如果土壤温度升高、风速、辐射增加，土壤湿度降低。

表5 施秉土壤温度、风速、辐射与土壤湿度关系(2011年7月)

项目	数学模型	拟合度 R^2	相关系数 r	显著性
土壤温度(t)	$y = 1210 - 147.98t + 4.614t^2$	0.9634	-0.9504	**
风速(w)	$y = 153.93 - 103w + 20.12w^2$	0.5047	-0.7284	**
辐射(q)	$y = 120.486 - 5.229q$	0.8023	-0.8994	**

施秉2012-2015年7月较2011年7月降水偏多。表6为降水量大于300mm、大气湿度为80-100%时，土壤温度40天滑动平均、辐射20天滑动平均与土壤湿度的回归模型和相关系数。结果表明，土壤温度与土壤湿度的相关性最好。土壤温度40天滑动平均值、辐射20天滑动平均值与土壤湿度呈负相关。即如果土壤温度升高、辐射增加，土壤湿度降低。风速15天滑动平均值与土壤湿度相关性未通过水平为0.05的显著性检验，故不进行拟合分析。

表6 施秉土壤温度、风速、辐射与土壤湿度关系(2012—2015年7月)

项目	数学模型	拟合度 R^2	相关系数 r	显著性
土壤温度(t)	$y = 219.89 - 191.34t + 4.325t^2$	0.5713	-0.6533	**
辐射(q)	$y = 90.15 + 3.33q - 0.26q^2$	0.5791	-0.6052	**

综上所述，在上述5种情况下，施秉的土壤温度与土壤湿度的相关性均通过0.05水平的显著性检验，只有2011-2015年施秉1月土壤温度偏高时降水量也较其他天数偏多，土壤温度与土壤湿度呈正相关；其余情况下，施秉的土壤温度与土壤湿度呈负相关。即当降水量和大气湿度相对较少时，随着土壤温度的升高，土壤湿度降低。只在一种情况下，风速与土壤湿度未通过0.05水平显著性检验，其余情况的风速与土壤湿度均通过0.05水平显著性检验并呈负相关。当降水量和大气湿度相对较少时，随着风速的增加，土壤湿度降低。在上述五种情况下，辐射与土壤湿度的相关性均通过0.05水平的显著性检验，并呈负相关；当降水量和大气湿度相对较少时，随着辐射的增加，施秉的土壤湿度降低。

3.2 铜仁土温、风速、辐射与土壤湿度关系

本文对铜仁2011-2015年逐日平均土壤温度、平均风速、辐射分别进行了不同日数的滑动平均和土壤湿度做了相关性分析，结果见表7。从表7可见，逐日平均土壤温度40天滑动平均值、平均风速10天滑动平均值、辐射25天滑动平均值与土壤湿度的相关系数最大，即相关程度最好。本文分别对1月、4月、7月建立了回归方程并进行了讨论。

表 7 铜仁日平均土壤温度、风速、辐射滑动日数与土壤湿度的相关系数(r 值)										
气象要素/滑动日数	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
土壤温度	-0.1790	-0.2560	-0.3650	-0.3760	-0.4340	-0.4960	-0.5320	-0.5960	-0.5540	-0.4190
风速	-0.3945	-0.4454	-0.4342	-0.3876	-0.2988					
辐射	-0.2310	-0.2675	-0.3897	-0.4012	-0.4856	-0.4665	-0.3453	-0.2987		

1 月土温、风速、辐射与土壤湿度的关系：表 8 为贵州省铜仁 2011-2015 年 1 月降水最小于 30mm、大气湿度 70%-85%、土壤温度 40 天滑动平均值、风速 10 天滑动平均值、辐射 25 天滑动平均值与土壤湿度的回归模型和相关系数。结果表明，辐射与土壤湿度的相关程度最高。铜仁的土壤温度 40 天滑动平均值、风速 10 天滑动平均值、辐射 25 天滑动平均值与土壤湿度呈负相关。即如果土壤温度升高、风速、辐射增加，土壤湿度降低。

表 8 铜仁土壤温度、风速、辐射与土壤湿度关系(2011—2015 年 1 月)				
项目	数学模型	拟合度 R ²	相关系数 r	显著性
土壤温度(t)	$y = 91.499 - 3.309t - 0.387t^2$	0.4327	-0.5934	**
风速(w)	$y = 124.56 - 66.56w + 20.454w^2$	0.4080	-0.5208	**
辐射(q)	$y = 114.79 - 4.405q$	0.5875	-0.7082	**

4 月土温、风速、辐射与土壤湿度的关系：铜仁的降水量 2011 年 4 月降水量较 2012-2015 年 4 月偏少。表 9 为降水量在小于 55mm、大气湿度范围在 70%-90%、土壤湿度小于 60%的条件下，土壤温度 40 天滑动平均值、辐射 25 天滑动平均值与土壤湿度的回归模型和相关系数，辐射与土壤湿度相关性最高。土壤温度 40 天滑动平均值、辐射 25 天滑动平均值与土壤湿度呈负相关。即如果土壤温度升高、辐射增加，土壤湿度降低。风速 10 天滑动平均值与土壤湿度相关系数为 r=0.2003, 相关性未通过水平为 0.05 的显著性检验，故不进行拟合分析。

表 9 铜仁土壤温度、风速、辐射与土壤湿度关系(2011 年 4 月)				
项目	数学模型	拟合度 R ²	相关系数 r	显著性
土壤温度(t)	$y = 21.57 + 12.17t - t^2$	0.8012	-0.8085	**
辐射(q)	$y = 75.44 - 2.074q$	0.7524	-0.8724	**

表 10 铜仁土壤温度、风速、辐射与土壤湿度关系(2012—2015 年 4 月)				
项目	数学模型	拟合度 R ²	相关系数 r	显著性
土壤温度(t)	$y = 91.499 - 3.309t - 0.387t^2$	0.4327	-0.5934	**
风速(w)	$y = 124.56 - 66.56w + 20.454w^2$	0.4080	-0.5208	**
辐射(q)	$y = 114.79 - 4.405q$	0.5875	-0.7082	**

铜仁 2012-2015 年 4 月的降水量较 2011 年偏多。表 10 为铜仁降水量在大于 150mm、大气湿度为 80%-95%、土壤湿度大于 70%、土壤温度 40 天滑动平均值、风速 10 天滑动平均值、辐射 25 天滑动平均值与土壤湿度的回归模型和相关系数，辐射与土壤湿度的相关程度最高。土壤温度 40 天滑动平均值、风速 10 天滑动平均值、辐射 25 天滑动平均值与土壤湿度呈负相关。即如果土壤温度升高、风速、辐射增加，土壤湿度降低。

7月土温、风速、辐射与土壤湿度的关系：铜仁2011年7月的降水最较2012-2015年7月偏少。表11为降水量小于350mm、大气湿度65%-80%、10cm土壤相对湿度小于64%的条件下，2011年7月土壤温度40天滑动平均值、风速10天滑动平均值、辐射25天滑动平均值与土壤湿度的回归模型和相关系数。结果表明，风速与土壤湿度的相关程度最高。土壤温度40天滑动平均值、风速10天滑动平均值、辐射25天滑动平均值与土壤湿度呈负相关。即如果土壤温度升高、风速、辐射增加，土壤湿度降低。

表 11 铜仁土壤温度、风速、辐射与土壤湿度关系(2011 年 7 月)				
项目	数学模型	拟合度 R ²	相关系数 r	显著性
土壤温度(t)	$y = 1269.14 - 155.95t + 4.977t^2$	0.8956	-0.7053	**
风速(w)	$y = 545.9 - 589.38w + 175.59w^2$	0.8487	-0.8815	**
辐射(q)	$y = 166.7 - 15.98q + 0.529q^2$	0.6514	-0.4505	**

铜仁2012-2015年7月降水量较2011年7月偏多。表12为降水量大于450mm、大气湿度在85%-100%、10cm土壤相对湿度超过60%的条件下，2012-2015年7月土壤温度40天滑动平均值、风速10天滑动平均值、辐射25天滑动平均值与土壤湿度的回归模型和相关系数，表明地表温度与土壤湿度的相关性最好。土壤温度40天滑动平均值、风速10天滑动平均值、辐射25天滑动平均值与土壤湿度呈负相关。即如果土壤温度升高、风速、辐射增加，土壤湿度降低。

表 12 铜仁土壤温度、风速、辐射与土壤湿度关系(2012—2015 年 7 月)				
项目	数学模型	拟合度 R ²	相关系数 r	显著性
土壤温度(t)	$y = 7163 - 593.2t + 12.399t^2$	0.7807	-0.8565	**
风速(w)	$y = 289.5 - 283.39w + 114.2w^2$	0.8507	-0.6617	**
辐射(q)	$y = 168.75 - 10.63q + 0.279q^2$	0.8560	-0.8234	**

综上所述，在上述五种情况下，铜仁土壤温度与土壤湿度的相关性均通过水平为0.05的显著性检验，并呈负相关。当降水量和大气湿度相对较小时，随着土壤温度的升高，土壤湿度降低。只有在一种情况下风速与土壤湿度未通过水平为0.05的显著性检验，其余情况的风速与相对湿度均通过水平为0.05的显著性检验并呈负相关。当降水M和大气湿度相对较小时，随着风速的增加，土壤湿度降低。在上述五种情况下，辐射与土壤湿度的相关性均通过水平为0.05的显著性检验，并呈负相关。当降水量和大气湿度相对较小时，随着辐射的增加，土壤湿度降低。

4 讨论及结论

综上所述，土壤温度、风速、辐射与土壤湿度关系密切，但在不同的降水量和空气湿度下，土壤温度、风速、辐射对土壤湿度的影响不同。主要表现为：①土壤温度与土壤湿度的相关性均通过0.05水平的显著性检验。当降水量和大气湿度相对较小时，土壤温度与土壤湿度呈负相关关系。随着土壤温度的升高，土壤湿度降低。施秉2011-2015年1月降水量较多，土壤温度与土壤湿度呈正相关，随着土壤温度的升高，土壤湿度升高。②大多数情况下，风速与土壤湿度通过了0.05水平的显著性检验，并呈负相关关系。当

降水量和大气湿度相对较小时，随着风速的增加，土壤湿度降低。③辐射与土壤湿度的相关性均通过 0.05 水平的显著性检验，并呈负相关关系。当降水量和大气湿度相对较小时，随着辐射的增加，土壤湿度降低。

气象因子对土壤湿度变化起着决定性作用，本文的讨论再一次证实了这一结论，但两者关系复杂。当降水量和空气湿度不同时，土壤温度、风速、辐射与土壤湿度的关系不同。本文研究成果为今后土壤湿度的预测、土壤湿度和气象因子的关系研究等方面的理论研究和应用提供了参考与借鉴。

参考文献:

- [1]方文松, 陈怀亮, 李树岩, 等. 南阳市土壤湿度与气候变化的关系分析[J]. 气象与环境科学, 2007, 30(4): 13- 16.
- [2]程善俊, 管晓丹, 黄述平, 等. 利用 GLDAS 资料分析黄土高原半干旱区: 土壤湿度对气候变化的响应[J]. 干旱气象, 2013, 31(4): 641- 649.
- [3]邓文君, 王蓉, 王磊, 等. 中《南方地区 10cm 土壤湿度分析[A]. 广州: 热带海洋科学学术研讨会暨广东海洋学会会员代表大会论文, 2013.
- [4]姜 m 霞, 李帅, 闰平, 等. 黑龙江省土壤湿度变化及其与气候变化的关系[Z]. 北京: 全日农业气象学术年会, 2008.
- [5]王磊, 文军, 韦志刚, 等. 中国西北区西部土壤湿度及其气候响应[J]. 高原气象, 2008, 27(6): 1257- 1266.
- [6]王丹•南瑾, 韩俊杰, 等. 黑龙江省土壤湿度及其对气温和降水的敏感性分析[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(2): 49-53.
- [7]Scyfried M S, Wileox B P. Sealr and Nacure of Spatial Variability : Field Ex-amples Having Implications for Hydrologic Modeling[J]. Water Recours Research, 1995, (31): 173-483.
- [8]马志红. 郑州市土壤 S 度变化规律研究[Z]. 北京: 中国气象学会年会, 2011.
- [9]陈梦圈, 王刚, 唐红样. 修文县太阳总描射计算与分析[J]. 贵州气象, 2015, 39(2): 60 - 62.
- [10]刘丽霞, 王辉, 孙栋元, 等•绿洲防护林系统土壤蒸发特征研究[J]. 干旱区资源与环境,

2008, 22(1):162-166.