

# 陇东黄土高原农田土壤湿度演变对气候变化的响应

严丽<sup>1</sup>, 王飞<sup>1,2</sup>, 蒋冲<sup>1</sup>, 穆兴民<sup>1,2</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 以甘肃省庆阳市西峰区为例, 利用近 50 a 气象观测资料和近 20 a 的土壤湿度观测资料, 分析全球气候变暖背景下陇东主要气象要素及土壤湿度的变化特征, 研究了气候变化对土壤湿度的影响。50 a 来陇东气温呈波动上升趋势, 降水量呈波动减少趋势。1991—2010 年陇东各层土壤湿度总体上均呈现出下降趋势, 春季是土壤湿度减少最明显的季节, 夏季土壤湿度变化趋势与春季具有类似规律, 但变化率明显低于春季。秋季浅层土壤湿度呈下降趋势, 深层呈上升趋势。就表层土壤湿度而言, 各季土壤湿度与该季气温均为负相关, 与降水量呈正相关。而对较深层土壤而言, 土壤湿度与气温、降水的相关关系因季节而异。潜在蒸散量对土壤湿度的影响月份和年际变化均呈现出反位相的特点, 基本呈同步变化趋势。通过对农田土壤水分演变特征及其影响因素进行分析, 为进一步理解土壤水分的演变, 合理利用气候资源, 调整农业生态布局, 积极应对气候变化提供决策方面的参考。

**关键词:** 陇东黄土高原; 农田土壤湿度; 演变; 气候变化

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)03-0011-06

中图分类号: S152.7

## Responses of Soil Moisture Evolution in Cropland to Climate Change on Longdong Loess Plateau

YAN Li<sup>1</sup>, WANG Fei<sup>1,2</sup>, JIANG Chong<sup>1</sup>, MU Xing-min<sup>1,2</sup>

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University,

Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese

Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** In a case study of Xifeng City on the Longdong Loess Plateau, climate change trends and its effects on soil moisture, as well as the evolution of soil moisture were analyzed based on the 50-year climate data and the 20-year observation data of soil moisture. Results show that temperature increased and rainfall decreased in the recent 50 years. From 1991 to 2010, soil moisture in Longdong presented a downward trend on the whole. In spring, soil moisture decreased more severely and in summer, soil moisture had a similar trend, but the rate of change was significantly lower than that in spring. In fall, soil moisture in shallow soil layer showed a downward trend, while the deep soil presented a rise trend. For topsoil, soil moisture in each season was negatively correlated with temperature and positively correlated with precipitation. For deeper soil layer, the correlations of soil moisture with temperature and precipitation depended on season. The effects of potential evapotranspiration on soil moisture were characterized by an antiphase monthly and annually, and the basic trends were synchronized. The analyses of soil moisture evolution and its influence factors may provide some references to the decision making for understanding soil moisture evolution, rationally using climatic resources, adjusting agricultural and ecological patterns and positively coping with climate change.

**Keywords:** Longdong Loess Plateau; soil moisture in farmland; evolution; climate change

土壤湿度是地表水文平衡过程的一个综合指标。主要的因素, 因此, 土壤湿度是对气候变化反应敏感在影响土壤湿度的环境因子中, 降水和蒸发是两个最的环境因子。土壤湿度变化和气候变化实际上相互

收稿日期: 2011-07-17

修回日期: 2011-08-27

资助项目: 中荷联合主题研究项目“渭河流域水环境问题综合治理对策研究”(GJHZ1018); 中国科学院对外合作重点项目“Netherlands Organization for Scientific Research, NWO”(OND1339291); 中国科学院水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金项目“北方旱区表层土壤水分遥感监测实验研究”(10502-Z12-9)

作者简介: 严丽(1986—), 女(汉族), 甘肃省武威市人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持与荒漠化防治。E-mail: yl821629@126.com。

通信作者: 王飞(1971—), 男(汉族), 陕西省户县人, 博士, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事水土保持环境效应评价、荒漠化防治和气候变化等研究。E-mail: wafe@ms.iswc.ac.cn。

作用且密不可分。从短期气候变化的角度看,土壤湿度可以通过改变地表反照率及土壤热容量和向大气输送感热影响气候<sup>[1-2]</sup>。但在年际到年代际的时间尺度上,土壤湿度更多地受到气候变化的影响。近 100 a 来全球气候变暖已引起人们广泛关注,全球变暖导致地表蒸发增加,引发全球干旱化的发展和加剧;另外城市化进程,人为地过牧、过垦等造成地表覆盖的减小,导致蒸发增加,土壤含水量减小。中国北方干旱化趋势就是我国在全球气候变化背景下出现的一个突出的环境问题<sup>[3]</sup>。前人研究表明,中国西北地区是气候变暖的主要地区之一<sup>[4]</sup>。

陇东黄土高原地处我国北方半湿润气候向半干旱气候过渡的地带,土壤季节性缺水明显,受周边地区风沙影响严重<sup>[5]</sup>。气候变化使得影响土壤湿度的主要气象因素明显恶化<sup>[6-7]</sup>,对已经比较脆弱的生态和农业生产构成严重威胁。目前,关于该地区或周边区域土壤湿度的研究较多,但由于资料长度限制,多着重于土壤湿度的一般分布规律和空间特征的分析,而对土壤湿度演变特征及其与气候变化的关系研究较少。该地区作为一个典型的雨养农业区,土壤湿度不仅直接影响农业生产,也是决定自然生态环境质量的一个重要因素。了解全球气候变暖背景下土壤湿度的变化特征及主要影响因素,对合理利用气候资源,调整农业生态布局,采取有效手段抑制土壤水分恶化,改善水土状况,积极应对气候变化具有重要意义。

## 1 研究区概况

选取甘肃省庆阳市西峰区西峰气象站(35°44'N, 107°38'E)为代表站进行研究。该站位于陇东黄土高原东部的董志塬。董志塬面积 910 km<sup>2</sup>,由塬地、川地和河流滩地组成,海拔高度 1 421 m,是黄土高原保存较为完整的一块塬面。该塬黄土层深厚,气候属半干旱半湿润区,农业为典型的旱作农业。年平均降水量 527.1 mm,年平均温度 8.7 °C,平均日照 2 457.8 h,具有典型的黄土高原地理和气候特征。西峰区气象站是陇东地区较为重要的农业气象试验站,其所测土壤湿度数据是甘肃东部黄土高原土壤含水量状况的典型代表,故本文选取西峰区气象站为代表站进行研究。

## 2 资料来源

### 2.1 土壤湿度数据

本研究所采用的土壤湿度资料分为两部分,前者来源于中国气象局气象数据共享网的《中国农作物生

长发育和农田土壤湿度旬值数据集》。该数据集包含了 1991 年 9 月至 2010 年 12 月中国 778 个农业气象站逐旬观测记录的农作物生长发育状况报告,具体内容包括:作物名称;发育期名称;发育期日期;发育程度;发育期距平;干土层厚度;10, 20, 50, 70, 100 cm 土壤相对湿度(用百分数表示)。另外,分层土壤湿度数据来源于国际土壤湿度网络共享数据(<http://www.ipf.tuwien.ac.at/insitu/>),该数据集包括中国境内 40 个农业气象站 1981—1999 年每年 3—11 月每旬第 8 d 利用土钻法人工取土得到的分层土壤湿度(土壤含水量占干土质量百分比)观测记录。取土深度为 1 m,每 10 cm 为一层,共分 11 层(0—5, 5—10, 10—20, 20—30, 30—40, 40—50, 50—60, 60—70, 70—80, 80—90, 90—100 cm),每个点取 1 次,共 4 个重复。然后利用烘箱烘干,称重后计算土壤含水量,4 次重复的平均即土壤的平均含水量。观测结果已转化为体积含水量。

土壤水文与物理特性常数来自于 1980 年和 1998 年的测定值。在土壤湿度观测的固定测定地段内,土壤、耕作制度等变化相对较小,因此,年际间非气象因子的影响较小。

### 2.2 气象数据

本研究所采用的气象数据同样来源于中国气象局气象数据共享网(<http://cdc.cma.gov.cn/>)的《中国地面气候资料年值数据集》和《中国地面气候资料月值数据集》。该数据集包括中国 752 个基本、基准地面气象观测站及自动站 1951 年以来气候资料年值、月值数据集。本文主要选取该数据集中西峰区站的温度和降水要素进行分析。

## 3 研究方法

在本研究中,采用线性趋势法分析温度、降水等气象要素以及土壤湿度的变化趋势,线性趋势变化可用一元方程描述和建立变量  $y(x)$  与其所对应的时间  $x$  的一元线性回归方程:  $y(x) = ax + b$ 。式中:  $a$  为斜率,亦即趋势倾向率或变化率;  $b$  为截距,  $a, b$  可用最小二乘法进行估计。趋势显著性检验采用  $F$  检验<sup>[8-9]</sup>。在分析土壤相对湿度与气象要素的相关关系时使用皮尔逊相关分析法,其计算公式如下:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{X})(y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (y - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

式中:  $n$ ——样本数;  $\bar{X}$ ——变量  $x$  的均值;  $\bar{Y}$ ——变量  $y$  的均值;  $r_{xy}$ ——变量  $x$  和变量  $y$  的相关系数。

通过该系数可以确定,如果  $r$  值通过 0.05 的显著性水平 ( $p < 0.05$ ),则认为土壤湿度与气象要素变化紧密相关。本研究采用非参数检验法<sup>[10]</sup>对气温、降水资料序列进行突变检测,该方法为无母数检定法,不需要遵从一定的分布,也不受少数异常值干扰,适用于类型变量和顺序变量,计算方便简单。在气候序列平稳前提下对于具有  $n$  个样本量的时间序列  $x$ ,构造一秩序列:

$$d_k = \sum_{i=1}^k r_i \quad (2 \leq k \leq n) \quad (2)$$

式中: $r_i$ ——第  $i$  个样本  $x_i$  大于  $x_j$  ( $2 \leq j \leq i$ ) 的累计值。在时间序列随机独立的假设下,定义统计量:

$$U_{Fk} = \frac{d_k - E[d_k]}{\sqrt{\text{var}[d_k]}} \quad (3)$$

$$E[d_k] = \frac{k}{4(k-1)} \quad (4)$$

$$\text{var}[D_k] = \frac{k(k-1)(2k+5)}{72} \quad (2 \leq k \leq n) \quad (5)$$

式中: $U_{Fk}$ ——序列标准分布; $E[d_k]$ ——序列平均值; $\text{var}[d_k]$ ——序列方差。

当  $|U_{Fk}| \geq U_a$  时 ( $U_a$  为显著水平的临界值),表明序列存在明显的增长或减少趋势。所有  $U_{Fk}$  将组成一条曲线  $U_F$ 。把同样的方法引用到反序列中,得到另一条曲线  $U_B$ ,  $U_F$  或  $U_B$  的值超过临界直线时,表明增长或减少趋势显著,超出临界线的区域为出现突变的区域,两条曲线的交点若在临界线之间,则对应的便是突变开始时间。潜在蒸散量采用 FAO 推荐的 Penman—Monteith 方法<sup>[11-12]</sup>计算。

## 4 结果与分析

### 4.1 近 50 a 气温、降水变化主要特征

1961—2010 年的 50 a 间西峰区气温呈明显上升趋势,年平均气温以  $0.5 \text{ }^\circ\text{C}/10 \text{ a}$  的速度增加,其中春、夏、秋、冬各季的平均气温分别以  $0.5, 0.2, 0.4, 0.6 \text{ }^\circ\text{C}/10 \text{ a}$  的速度增加,冬季增温最明显。年代际间的增温幅度以 21 世纪初的 10 a 最为明显(表 1),80 年代增温最小。50 a 来气温呈波动上升,20 世纪 80 年代后期前气温降低,之后逐渐上升。这与陈隆勋等<sup>[13]</sup>研究得出的全国平均气温变化特征相似。

表 1 西峰区不同年代气温、降水变化

季节	1961—1970 年		1971—1980 年		1981—1990 年		1991—2000 年		2001—2010 年	
	气温	降水	气温	降水	气温	降水	气温	降水	气温	降水
春季	9.0	123.9	9.1	99.6	9.0	120.5	9.9	98.9	11.3	84.9
夏季	19.9	271.9	19.9	279.3	19.6	289.4	20.4	259.0	20.9	285.8
秋季	8.0	207.2	8.5	147.7	8.6	137.2	9.0	103.7	9.8	153.7
冬季	-4.4	9.3	-4.0	17.1	-3.5	15.8	-2.6	12.2	-1.9	22.0
全年	8.1	612.3	8.4	543.7	8.4	562.9	9.2	473.7	10.0	546.3

50 a 来年降水量以平均  $20.9 \text{ mm}/10 \text{ a}$  的速度下降,季节降水量的变化存在明显差异,春、秋季降水量分别以  $5.4$  和  $19.2 \text{ mm}/10 \text{ a}$  的速度下降,而夏、冬季降水分别以  $2.7$  和  $1.6 \text{ mm}/10 \text{ a}$  速度增加。降水的年代际变化差异也较大,21 世纪初 10 a 平均年降水量为  $546.3 \text{ mm}$ ,较 20 世纪 90 年代增加了  $72.6 \text{ mm}$ ,是降水量增加幅度最大的年代。20 世纪 90 年代平均年降水量仅为  $473.7 \text{ mm}$ ,较 80 年代减少了  $89.2 \text{ mm}$ ,是降水量最少,减少幅度最大的年代(表 1)。50 a 来年降水量呈波动式减少,80 年代初前后降水量增加,之后一直呈降低趋势。1995 年是降减少最大的年份,年降水量仅为  $333.8 \text{ mm}$ ,21 世纪初的几年有所增加。

### 4.2 近 20 a 土壤湿度变化规律

4.2.1 土壤湿度年代、季节变化 不同年份气候、环境等条件变化使土壤湿度条件存在年际间差异<sup>[14]</sup>。从图 1 可以看出,20 a 来各层土壤湿度总体上均呈现出下降趋势。1992 年以后土壤湿度在 1997 年和

1995 年降到最低值,21 世纪初 10 a 略有增加。为进一步分析土壤湿度的变化规律,分别计算出不同层次各季土壤湿度变化率(表 2)。总体来看,近 20 a 春季不论浅层还是较深层土壤湿度呈下降趋势,是各季中土壤湿度减少最明显的季节,且表层土壤湿度更易受到气候条件变化的影响。20 a 来夏季土壤湿度变化趋势与春季具有类似规律,但变化率明显低于春季。秋季土壤湿度变化与春季和夏季稍有不同,10—50 cm 土壤湿度呈下降趋势,70 cm 和 100 cm 呈上升趋势。

对 20 a 间西峰区逐年平均土壤湿度和降水量进行了对比分析。由其时间演变曲线(图 1)可以看出,土壤湿度及降水量年际变化振荡比较明显,呈多波动分布,两者达到显著相关水平,且降水变化较土壤湿度变化更剧烈。年平均湿度最小值出现在 1995 年,为 55%。最大值出现在 2003 年,为 74%,是最小年的 1.35 倍。而年降水量最小值出现在 1995 年,为  $333.8 \text{ mm}$ ,最大值出现在 2003 年,为  $828.2 \text{ mm}$ ,是

最小年的 2.49 倍。1997—2003 年土壤湿度持续增加,1992—1995 年不断下降。而年降水量波动变化较大。1992—1995 年降水量持续降低,1999—2003 年持续升高。所测土壤湿度的变化与降水量变化并不完全一致,是因为土壤湿度的变化除了受作物消耗及蒸发作用影响外,还与降水时段出现在测墒前与测墒后有很大关系。

表 2 西峰区各季节不同深度土壤湿度变化率

季节	土层深度/cm					
	10	20	50	10—50	70	100
春季	-0.23	-0.43	-0.43	-0.35	-0.37	-0.05
夏季	-0.28	-0.40	-0.25	-0.30	-0.12	-0.05
秋季	-0.15	-0.16	-0.36	-0.20	0.35	0.63

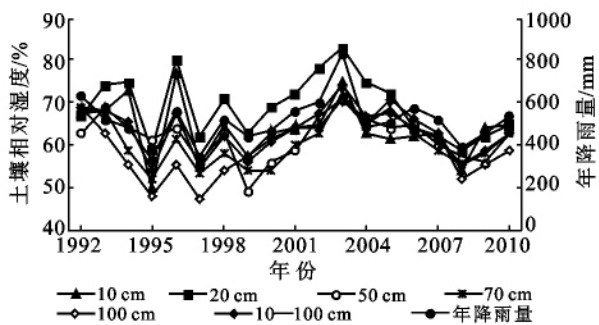


图 1 西峰区不同深度土壤湿度年际变化

4.2.2 土壤湿度的月变化 为了分析西峰区麦田土壤湿度在小麦生长期对时间的敏感变化,分别研究了土壤湿度的月、旬变化。其中旬、月变化总趋势是 8—11 月为土壤蓄墒期,3—7 月为土壤失墒期。为了分析土壤湿度的月变化,对西峰区 8—11 月与次年 3—7 月 0—100 cm 土壤湿度进行了分析。由土壤湿度月变化图(图 2)可以看出,8—11 月与次年 3—7 月的土壤湿度变化趋势为先增加再减少,高峰期在 10, 11 月。土壤湿度最低值出现在 6, 7 月,可将这 2 个阶段分为秋季增墒期和春末夏初失墒期。

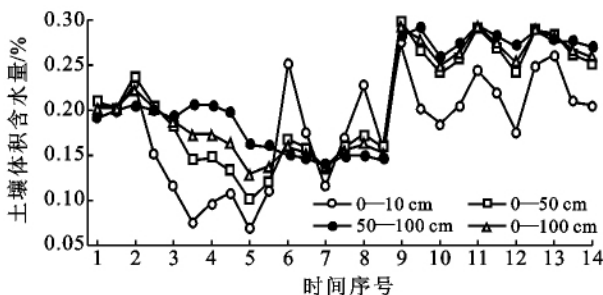


图 2 西峰区土壤湿度旬、月变化

注:时间序号 1 为 3 月 8 日; 2 为 3 月 28 日; 3 为 4 月 18 日; 4 为 5 月 8 日; 5 为 5 月 28 日; 6 为 6 月 18 日; 7 为 7 月 18 日; 8 为 8 月 18 日; 9 为 9 月 8 日; 10 为 9 月 28 日; 11 为 10 月 8 日; 12 为 10 月 28 日; 13 为 11 月 8 日; 14 为 11 月 28 日。

(1) 秋季增墒期。根据西北地区东部降水季节变化<sup>[7]</sup>,陇东地区年降水主要集中在 7—8 月,降水充足,期间麦田正处于休闲期,是土壤蓄水的关健时期,9—11 月是冬小麦播种、出苗至停止生长阶段。期间作物耗水量和蒸发量都很少,有利于土壤冬前水分储备,以至于到 11 月土壤湿度达到最大值。

(2) 春末夏初失墒期。3—4 月为春季少雨期以及冬小麦的返青拔节期。该期耗水量大,降水不能满足作物的需求,土壤湿度下降。5—6 月为春末夏初阶段。该期间冬小麦处于抽穗至乳熟期,耗水量大增,气温升高,蒸发量变大,使土壤水分损失较大,失墒严重,为一年之中土壤湿度的最低值期。

4.2.3 土壤湿度的旬变化 为了进一步分析西峰区土壤湿度对时间的敏感变化,分析了西峰区 7 月中旬至 11 月上旬及次年 3 月上旬至 7 月上旬逐旬 0—100 cm 土层土壤体积含水量。由图 2 可以看出,7 月中旬至 8 月下旬该区处于降水高峰期,土壤水分得到补充,土壤墒情得到不断改善;9 月上旬至 10 月上旬,降水量急剧减少。由于期间作物消耗水量较少,加之秋季多连阴雨天气,蒸发量较少,土壤湿度持续增长。3 月上旬至 4 月中旬为冬小麦返青至拔节期。该期耗水量增加,平均降水量略有增加,含水量有小波动变化。4 月下旬至 6 月下旬,小麦处于孕穗期、腊熟期。该期间西峰区处于春末夏初阶段,作物耗水量远大于降水量,土壤湿度不断降低。7 月上旬,降水量增加,冬小麦处于成熟至收获期。该期需水量大减,土壤湿度略有增加。

### 4.3 气候变化对土壤湿度的影响

自然降水是陇东土壤水分最主要的来源,气温通过蒸发影响土壤湿度。计算 1991—2010 年西峰区春、夏、秋季 10, 20, 50, 70, 100 cm 土壤湿度百分率与不同季节平均气温、降水量的相关系数(表 3)。可以看出,就表层土壤而言,各季土壤湿度与本季气温均为负相关,与降水量呈正相关。春季土壤湿度与上年夏、秋季平均气温负相关;夏季土壤湿度与春季平均气温、降水相关显著;秋季土壤湿度与夏季降水呈正相关。就较深层土壤而言,春季土壤湿度与上年夏、秋季气温、降水呈显著相关;夏季则与春季气温、降水及该季气温显著相关;秋季雨水丰沛,较深层土壤湿度与各季气温、降水相关均不显著。可见雨季的气候条件不仅影响到该季土壤湿度条件,而且影响到次年春季的土壤湿度,尤其是深层的土壤湿度条件,即所谓的“秋雨春用”。

### 4.4 蒸散对土壤湿度的影响

潜在蒸散量( $E_0$ )包括地面蒸发和植物蒸腾在内

的土壤水分散失,综合反映了气温、水汽压、日照和风速等气象要素对土壤水分散失的影响。作为土壤水分循环的一个重要方面,蒸散对土壤湿度有明显制约作用。由潜在蒸发与土壤湿度季节变化和年变化曲线(图 3—4)可以看出,潜在蒸发与土壤湿度变化趋势基本相反,蒸发强烈导致土壤水分支出增加。图 3—4 反映了西峰地区潜在蒸散量和土壤湿度的月份

和年际变化。可以看出,潜在蒸散量对土壤湿度的影响月份和年际变化均呈现出反位相的特点。在月变化上,蒸散量峰值出现在 7 月,对应的土壤湿度谷值出现在 6,7 月份,基本呈同步变化趋势。年际变化上,3—11 月蒸散量峰、谷值出现在 1997 年和 2003 年,与之对应的土壤湿度的谷、峰值也位于 1997 年和 2003 年,蒸散量与土壤湿度的反位关系表现得较为明显。

表 3 西峰区各季节不同深度土壤湿度与平均降水、气温的相关系数

土层深度/cm	季节	春季		夏季		秋季	
		气温/°C	降水量/mm	气温/°C	降水量/mm	气温/°C	降水量/mm
10	春	-0.376	0.657**	-0.241	0.119	-0.323	0.086
	夏	-0.404	0.270	-0.487*	0.601**	-0.309	0.206
	秋	-0.174	0.417	-0.431	0.689**	-0.616**	0.651**
20	春	-0.314	0.506*	-0.429	0.252	-0.487*	0.291
	夏	-0.451*	0.389*	-0.444**	0.558*	-0.127	0.079
	秋	-0.188	0.339	-0.371	0.645**	-0.543*	0.698**
50	春	-0.247	0.381	-0.511*	0.283	-0.576**	0.378
	夏	-0.359**	0.344*	-0.351	0.680**	-0.108	0.064
	秋	-0.064	0.382	-0.221	0.624**	-0.340	0.593**
70	春	-0.287	0.251	-0.540*	0.594**	-0.429	0.371
	夏	-0.117*	0.411	-0.315*	0.444	-0.119	0.112
	秋	-0.095	0.227	-0.279	0.709**	-0.234	0.552*
100	春	-0.038	0.057	-0.411	0.677**	-0.160	0.503*
	夏	0.079	0.251	-0.224	0.320	0.162	0.092
	秋	0.048	0.045	-0.165	0.655**	-0.096	0.644**

注: \* 为 5% 显著水平; \*\* 为 1% 极显著水平。

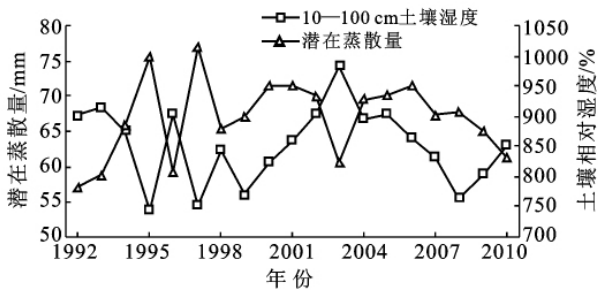


图 3 西峰区 3—11 月土壤湿度与潜在蒸散量年际变化

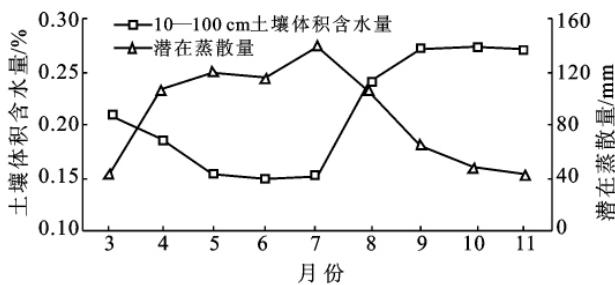


图 4 西峰区 3—11 月土壤湿度与潜在蒸散量年内变化

### 5 结论

(1) 50 a 来陇东气温呈波动上升,降水量呈波动

减少。20 世纪 80 年代后期气温以上升为主,降水以下降为主,与王飞等<sup>[15]</sup>的“1985—1993 年为暖湿期,降水量和年均气温均较高”的结论比较接近。陇东气温在 1993 年发生暖突变,降水突变点并不明显。1995 年是降水负距平最大的年份。

(2) 20 a 来陇东各层土壤湿度总体上均呈现出下降趋势,21 世纪初 10 a 略有增加。春季各层土壤湿度呈下降趋势,是各季中土壤湿度减少最明显的季节,表层土壤湿度更易受到气候条件变化的影响。夏季土壤湿度变化趋势与春季具有类似规律,但变化率明显低于春季。秋季土壤湿度变化与春季和夏季稍有不同。10—50 cm 土壤湿度呈下降趋势,70 cm 和 100 cm 呈上升趋势。西峰区土壤湿度年际变化振荡明显,呈多波动变化,其变化较年降水量相对迟缓。土壤湿度与降水量的相对变化除了受作物消耗及蒸发作用影响外,还与降水时段出现在测墒前与测墒后有很大关系。土壤湿度具有明显的时间变化规律。逐月、逐旬土壤湿度变化曲线基本呈 V 形分布,土壤湿度低谷在 6,7 月,可分为春末夏初失墒期与秋季增墒期。以上结论与王劲松等<sup>[16]</sup>,王润元等<sup>[17]</sup>在西峰

区和陇东地区开展的土壤湿度研究所得出的结论较为接近,与王锡稳等<sup>[18]</sup>在黄土高原或西北地区对土壤水分所进行的研究得出的结论基本一致。

(3) 就表层土壤而言,各季土壤湿度与该季气温均为负相关,与降水量呈正相关。春季土壤湿度与上年夏、秋季平均气温负相关;夏季土壤湿度与春季平均气温、降水显著相关;秋季土壤湿度与夏季降水呈正相关。就较深层土壤而言,春季土壤湿度与上年夏、秋季气温、降水呈显著相关;夏季则与春季气温、降水、该季气温显著相关;秋季雨水丰沛,较深层土壤湿度与各季气温、降水相关均不显著。雨季的天气和气候条件不仅影响到该季土壤湿度条件,而且影响到次年春季的土壤湿度,尤其是深层的土壤湿度条件,即所谓的“秋雨春用”。

(4) 潜在蒸发与土壤湿度变化趋势基本相反,蒸发强烈导致土壤水分支出增加。潜在蒸散量对土壤湿度的影响月份和年际变化均呈现出反位相的特点。在月变化上,蒸散量峰值出现在 7 月,对应的土壤湿度谷值位于 6,7 月,基本呈同步变化趋势。年际变化上,3—11 月蒸散量峰、谷值出现在 1997 年和 2003 年,与之对应的土壤湿度的谷、峰值也位于 1997 年和 2003 年,蒸散量与土壤湿度的反位关系表现得较为明显。该结论与王润元等<sup>[17]</sup>在陇东地区所取得的研究成果趋势上基本一致,但因为他们采取的是土壤储水量指标,计算方法和数据处理手段和本文也不尽相同,所以分析结果稍有出入。

陇东地区是黄土高原典型半干旱区,土壤湿度的变化直接影响植被生长,改变下垫面状况对后期气候也有明显的影响。本研究着眼于农田土壤湿度变化与气温和降水的响应关系,对进一步认识陇东黄土高原地区土壤干旱及其变化规律有着重要意义,从而为实时种植作物,充分利用土壤水分资源,调节土壤水分状况以及提高作物产量提供有效的依据。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 马柱国,符淙斌,谢力,等. 土壤湿度和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.
- [2] 李巧萍,丁一汇,董文杰. 土壤湿度异常对区域短期气候影响的数值模拟试验[J]. 应用气象学报,2007,18(1):1-11.
- [3] 贡力,靳春玲. 西北地区生态环境建设和水资源可持续利用的若干问题[J]. 中国沙漠,2004,24(4):513-517.
- [4] 李栋梁,魏丽,蔡英,等. 中国西北现代气候变化事实与未来趋势展望[J]. 冰川冻土,2003,25(2):136-142.
- [5] 张杰,郭锐,荻潇泓. 西北地区东部冬季降水与次年沙尘暴发生的关系[J]. 中国沙漠,2005,25(3):603-606.
- [6] 王位泰,黄斌,张天锋,等. 陇东黄土高原冬小麦生长对气候变暖的响应特征[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(1):153-157.
- [7] 万信,王润元,李宗葵. 陇东黄土高原塬区农业气象要素的变化特征[J]. 生态学杂志,2007,26(3):344-347.
- [8] Stow D, Hope A, McGuire D, et al. Remote sensing of vegetation and land-cover change in Arctic Tundra ecosystems[J]. Remote Sensing of Environment, 2004,89(3):281-308.
- [9] 符淙斌,王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学,1992,16(4):482-493.
- [10] 李玉霖,崔建垣,张铜会. 参考作物蒸散量计算方法的比较研究[J]. 中国沙漠,2002,22(4):372-376.
- [11] Wen G, Fu Z B. Large scale features of the seasonal phenological responses to the monsoon climate in east China; interannual variations[J]. Climatic and Environmental Research, 2001,6(1):1-10.
- [12] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration[M]. Rome:FAO Irrigation and Drainage Paper, 1998:24-27.
- [13] 陈隆勋,周秀骥,李维亮,等. 中国近 80 年来气候变化特征及其形成机制[J]. 大气科学,2004,62(5):634-646.
- [14] 张国胜,李林,徐维新,等. 青海省东部农业区旱地土壤水分演变特征分析[J]. 中国沙漠,2000,20(3):314-316.
- [15] 王飞,穆兴民,焦峰,等. 近 50 年西峰气候变化特征分析[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(4):200-203.
- [16] 王劲松,张洪芬. 西峰黄土高原土壤含水量干旱指数[J]. 土壤通报,2007,38(5):867-872.
- [17] 王润元,杨兴国,张九林,等. 陇东黄土高原土壤储水量与蒸发和气候研究[J]. 地球科学进展,2007,22(6):625-635.
- [18] 王锡稳,王毅荣,张存杰. 黄土高原典型半干旱区水热变化及其土壤水分响应[J]. 中国沙漠,2007,27(1):123-128.