

近十年山西省土壤墒情时空变化规律*

郝振纯¹, 王慧¹, 顿珠加措², 鞠 琴¹

(1. 河海大学 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098
2. 西藏自治区水文水资源勘测局日喀则水文水资源分局, 西藏 拉萨 850000)

摘要: 以2003–2012年山西省64个墒情站土壤墒情观测资料为基础, 在ArcGIS环境下通过IDW插值法分析了土壤含水量的空间变化规律, 以及土壤含水量的年际和季节变化规律, 探讨了降水和气温对土壤含水量变化的影响。结果表明, 山西省土壤含水量东南部整体偏高, 北部和南部整体偏低。10、20和40 cm土层水平空间变化规律与整体一致, 纵向空间各层变幅由上到下依次变小。近10年年际变化趋势减少且不显著。从季节变化角度来看, 土壤水3月份开始减少, 到6月份增加, 增加到10月份再减。降水是影响全省土壤含水量时空变化的主导因素, 气温的影响不大。降水的多寡决定土壤含水量的高低。

关键词: 土壤含水量; 时空变化; 降水; 山西省

中图分类号: S152.7 文献标志码: A 文章编号: 0529-6579 (2014) 05-0134-08

Spatiotemporal Variations of Soil Moisture Across Shanxi Province During 2003 – 2012

HAO Zhenchun¹, WANG Hui¹, DUNZHU Jiacao², JU Qin¹

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China
2. Hydrology Bureau of Tibet Autonomous Region, Lhasa 850000, China)

Abstract: Temporal and spatial variations of soil moisture in Shanxi Province are analyzed by using Inverse Distance Weighted (IDW) method with ArcGIS software package, based on soil moisture and precipitation data from 64 monitoring stations during 2003 – 2012. The annual and seasonal variations in soil moisture are obtained, and influences of precipitation and temperature changes on soil moisture are investigated using correlation analysis technique. The results indicate that soil moisture is high in the southeast Shanxi, and low in the north and south parts of the Shanxi province. All soil moistures at 10, 20 and 40 cm soil depth show similar variation feature to spatial patterns, but with a less variability in soil moisture at lower soil layer. Moreover, soil moisture tends to increase from the upper to the lower soil profile. There are no clear interdecadal change but obvious seasonal change in soil moisture, decreasing from March, becoming increase in June, and then decreasing again from October. Precipitation plays a key role in spatiotemporal variations of moisture and influences of temperature on soil moisture are moderate.

Key words: soil moisture; temporal and spatial variation; precipitation; Shanxi Province

* 收稿日期: 2014-01-13

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (2010CB951103); 国家自然科学基金 (41101015; 41371047); 中国科学院战略性先导科技专项基金 (XDA05110102); 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室专项基金 (1069-50985512) 联合资助项目

作者简介: 郝振纯 (1958年生), 男, 研究方向: 水文水资源与气候变化影响; E-mail: hzchun@hhu.edu.cn

20 世纪以来的气候变化是全球关注的热点, 气候变化将对农业生产以及人类的生存环境产生直接或间接的影响^[1]。裘国旺等研究表明山西是全球气候变化反应敏感的生态脆弱带之一^[2]。马柱国等对中国区域近 50 a 的干湿变化趋势进行了分析, 表明山西处于显著干化(变干)区^[3]。针对山西干旱大多都着眼于降水、气温等气象要素变化方面^[4-6], 鲜有基于全省的土壤墒情的时空变化规律分析。罗俐雅等^[7]和贾利芳等^[8]做过其他地区的相关研究。

土壤水是指存在和保持于土壤中的水分, 土壤最重要的组成部分之一, 它是土壤肥力的一个影响因素, 控制土壤水含量是提高农业生产力的重要方法之一。土壤水的时空变化受到多种因素的影响, 包括降雨、植被、土壤、地形、人类活动等^[9]。张强等研究表明土壤水与气象因子联系密切, 可利用气象因子分析某一土层深度的土壤湿度变化^[10]。Bloschl 等认为土壤水时空变化的影响因子随时空变化尺度大小的不同而改变^[11]。Entin 等把土壤水的时空变化尺度分为大小两种, 大尺度的时空变化主要由降雨和潜在蒸发模式影响, 小尺度主要由土壤、地形、植被及其根系结构影响^[12]。在干旱半干旱地区, 气温是影响蒸发的主要因素^[13]。本文结合降水和气温分析了山西省近 10 年的土壤墒情时空变化规律, 试图揭示其变化原因, 以便为干旱评估和预测, 以及制定区域调水、配水方案和灌溉计划等提供依据。

1 研究区概况和资料分析

1.1 区域概况

山西省地处华北西部的黄土高原东翼, 位于东经 110°14′-114°33′, 北纬 34°34′-40°43′之间, 全省总面积 156 271 km², 约占黄土高原地区总面积的 24.38% 和全国土地总面积的 1.63%。总体轮廓大致呈东北—西南斜向的平行四边形, 地势呈“两山夹一川”形势, 东西两侧是山地和丘陵, 中部自东北至西南走向为串珠式沉陷盆地和平原(图 1)。山西境内气候差异很大, 由北向南渐次过渡为温带、暖温带和北亚热带。山西地处中纬度, 距海不远, 但因山脉阻隔, 夏季风影响不大, 属温带大陆性季风气候。年平均气温 3~14℃, 昼夜温差大, 南北温差也大。山西无霜期南长北短, 平川长山地短。全省年降水量在 400~650 mm 之间, 但季节分布不均匀, 夏季 6-8 月降水高度集中且多暴雨, 降水量约占全年的 60% 以上。全省降水

受地形影响很大, 山区较多, 盆地较少。全省日照充足, 热量资源较丰富, 但灾害性天气较多, “十年九旱”。山西土壤类型主要为棕壤。

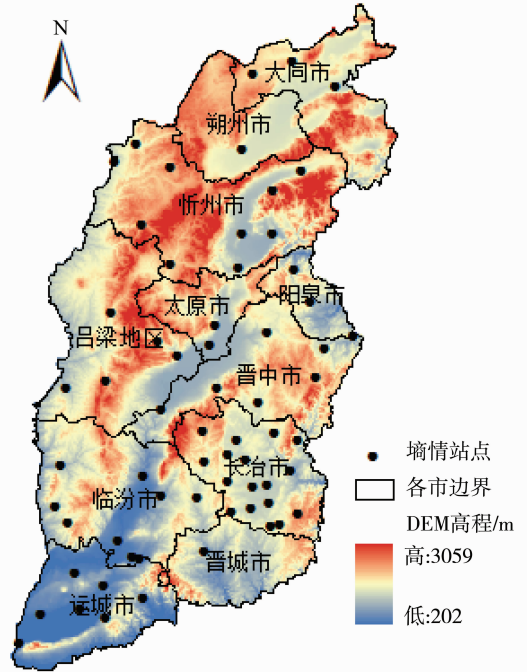


图 1 山西省土壤墒情站点分布图

Fig. 1 The soil moisture monitoring stations in Shanxi Province

1.2 资料分析和方法

本文所用资料来自 2003-2012 年山西省数据, 包括土壤含水量、降水和气温。土壤墒情数据的测量和处理均遵循水利部制定发布的《土壤墒情监测规范》^[14]。墒情数据由 64 个土壤墒情监测站测定(图 1), 观测期为每年的 3-11 月份。土壤含水量应用烘干法测得, 为含水重与干土质量之比。取样深度为 10、20 和 40 cm 三个层次, 因站点测定难易程度不同, 每月测定次数也不同, 多数站点为每月定期测定 6 次, 分别于 1、6、11、16、21、26 日测定, 少数站点每月定期测定 3 次, 每月的 1、11、21 日测定。每层的月平均值分别取本月各测次的算术平均。各测点的土壤含水率平均值按 3 点取样法计算^[14]:

$$\rho_{\text{平均值}} = (\rho_{10} + 2\rho_{20} + \rho_{40})/4$$

式中, ρ_{10} , ρ_{20} , ρ_{40} 分别为测点 10, 20, 40 cm 深处的土壤含水量; $\rho_{\text{平均值}}$ 为测点的平均土壤含水量。

降水数据为各对应测点的日降水量, 即每年 3-11 月份的日值数据, 单位 mm。气温数据从中国气象科学数据共享服务网上下载的, 为 28 个市级气象站点的日平均气温, 单位℃。

文中采用 Mann-Kendall (MK) 秩次相关检验法^[15], 分析土壤水年际趋势变化。对于缺测数据, 应用 SPSS 软件根据站点自相关性进行插补。土壤含水量与降水、气温的相关性大小通过 SPSS 软件计算。通过 GIS 平台, 采用反距离权重插值法 (Inverse Distance Weighting, IDW) 绘制山西省土壤水、降水及气温月平均量的空间变化图 (图 2)^[16-17]。IDW 插值法没有考虑下垫面类型的差异, 因此插值结果具有一定的局限性, 例如坡地、灌溉农田等的插值结果与实际情况可能存在较大差异。分析山西省土壤水的空间分布规律, 根据土壤含水量的大小应用 GIS 软件中 Classified 命令对土壤水进行了分级, 分为 6.29 ~ 14.00、14.00 ~ 16.30、16.30 ~ 22.35 三个等级 (图 2d)。

对山西省土壤水进行时空变化规律分析, 因研究区域大且含水率的变化范围大, 故分地区分析。地区的划分主要根据土壤水的空间分布图并结合降水、气温分布规律以及地理位置地形等多种因素考虑, 把山西省分为 4 部分: 北部包括位于大同市、朔州市和忻州市的全部站点, 共 14 个测站; 中西部包括吕梁、太原、阳泉市的全部站点, 晋中市除榆社外的 6 个站点以及临汾市的赵城、乡宁、吉县和大宁的 4 个站点, 共 19 个测站; 东南部包括长治市的全部站点、晋中市的榆社站、临汾市的飞岭站以及晋城市的油房站, 共 20 个测站; 南部包括运城城市的全部站点和临汾市临汾盆地的东庄、柴庄、浍河水库、大交 4 个站点, 共 11 个测点 (图 2d)。

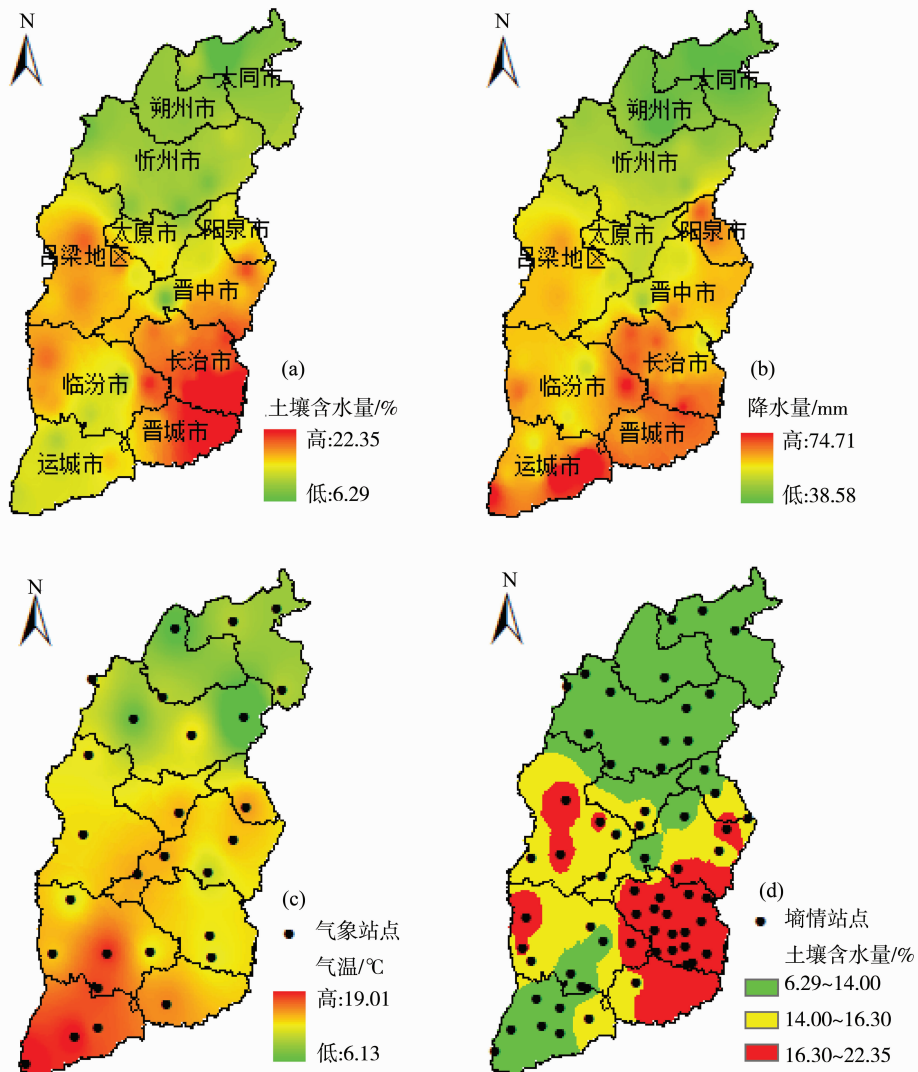


图 2 2003 - 2012 年山西省月平均土壤含水量 (a)、降水 (b)、气温 (c) 空间变化及土壤含水量分级图 (d)

Fig. 2 Spatial variation patterns for monthly mean soil moisture (a), precipitation (b) and temperature (c), and classifying pattern for soil moisture (d) in Shanxi province during 2003 - 2012

2 土壤墒情时空变化分析

2.1 土壤墒情的水平空间变化

由测定的土壤含水量数据计算得到，2003 - 2012 年山西省土壤含水量的月平均值为 15.02%。从各分区的土壤水均值来看，土壤含水量由高到低依次为东南部、中西部、南部、北部（表 1）。土壤含水量的高值出现在东南部长治盆地地区，低值出现在北部地区。东南部土壤含水量整体偏高；北部和南部整体偏低；中西部地区，以盘陀站为界，太原盆地北部以及系舟山地区土壤含水量较低，其他部分较高（图 2a）。各层土壤水含量最大值均在东南部长治盆地与太行山交汇处的龙镇站，其月均土壤含水量为 22.36%，降水量为 61.4 mm，在 64 个测站中属于降水偏多站。各层最小值均在山西省北部大同盆地北端的孤山站，其十年月均土壤含水量为 6.30%，降水量为 40.49 mm，在山西省 64 个测站中，除东榆林水库站月降水量为 38.17 mm

外，孤山站月降水量最少。由表 1 变异系数可以看出各地区变化程度相差不大，北部和中西部土壤含水量水平空间上变化程度较大，南部和东南部的变化程度较小。

2003 - 2012 年山西省降水量的月平均值为 55.61 mm，降水量由高到低依次为东南部、南部、中西部、北部（表 1）。降水分布呈现南多北少^[6]，东南部最多，山区多于盆地，与土壤水分布规律类似（图 2b）。降水丰富的地区，土壤含水量也较高。其中，南部的降水量较多，土壤含水量整体偏低，这是因为，南部地区降水分布不均，临汾盆地和运城盆地内的降水较少，中条山地区的降水比较多，使得山西南部地区平均降水量增高，而中条山的降水不能汇流到运城盆地补充土壤水。山西全省气温由西南到东北递减^[5]（图 2c）。南部地区平均气温明显偏高，北部地区则偏低。南部临汾和运城盆地的气温高又加剧了土壤水的蒸发，进一步使得南部土壤含水量偏低。

表 1 2003 - 2012 年山西省各地区月均土壤含水量变化情况表

Table 1 Monthly mean soil water contents in different regions of Shanxi province during 2003 - 2012

分区	最小值/%	最大值/%	(最大 - 最小) /%	平均值/%	标准差/%	变异系数	月降水量/mm
北部	6.30	13.42	7.12	10.99	1.69	0.15	47.17
中西部	9.75	18.51	8.75	15.30	2.09	0.14	56.14
南部	11.63	15.50	3.87	13.43	1.00	0.07	59.08
东南部	15.72	22.36	6.64	18.52	1.85	0.10	60.07
全省	6.30	22.36	16.06	15.02	3.31	0.22	55.61

2.2 土壤墒情的纵向空间变化

山西省各土层土壤含水量的水平空间变化同均值一样，含水量由高到低依次为东南部、中西部、南部、北部（表 2）。10 cm 土层含水量与 20 cm 土层基本持平，分别为 15.10% 和 15.11%；40 cm 土层的土壤含水量最小，为 14.75%。

求出 64 个站点各层土壤水的变化幅度（即用最大值减去相应年中的最小值），然后求十年变幅的平均值。山西省各层的平均变化幅度为 8.13%（表 2）。分析表 2 还可得到，10 cm 土层的变幅较大，20cm 土层变幅次之，40 cm 较小。从变异系数分析，各层的水平空间变化程度同均值一样都不大。

为了分析山西省土壤水纵向空间的变化规律，

表 2 不同分区各土层土壤含水量变化情况表

Table 2 Soil moistures of each soil layer in different regions in Shanxi province

土层	北部			中西部			南部			东南部			山西省		
	均值 /%	变异系数	变幅 /%	均值 /%	变异系数	变幅 /%	均值 /%	变异系数	变幅 /%	均值 /%	变异系数	变幅 /%	均值 /%	变异系数	变幅 /%
10cm	10.82	0.14	6.05	15.35	0.13	8.76	13.72	0.08	3.77	18.68	0.11	6.79	15.10	0.22	8.93
20cm	11.05	0.15	7.07	15.46	0.14	8.72	13.46	0.07	3.95	18.64	0.10	6.91	15.11	0.22	8.03
40cm	11.02	0.18	8.29	15.01	0.14	9.47	13.06	0.09	3.82	18.14	0.10	7.07	14.75	0.22	7.44
平均	10.99	0.15	7.12	15.30	0.14	8.76	13.43	0.07	3.87	18.52	0.10	6.64	15.02	0.22	8.13

一般情况下, 表层土壤含水量受降水的影响表现明显, 变化幅度较大。而沿土壤剖面向下, 降水量对深层土壤水分含量直接影响不显著, 变化幅度较小, 所以深层土壤水分含量的变化相对平缓。另外, 从图 3 可以看出, 雨季开始后, 10、20 cm 土

层比 40 cm 土层土壤含水量增加的早且变化速率快。这是因为土壤表层含水量受降雨影响明显。而 40 cm 土层介于表层和深层土壤之间, 即受到降雨的影响, 又会受到土壤的滞蓄作用, 所以 40 cm 曲线的增加在时间上有所滞后, 速率上也比较慢。

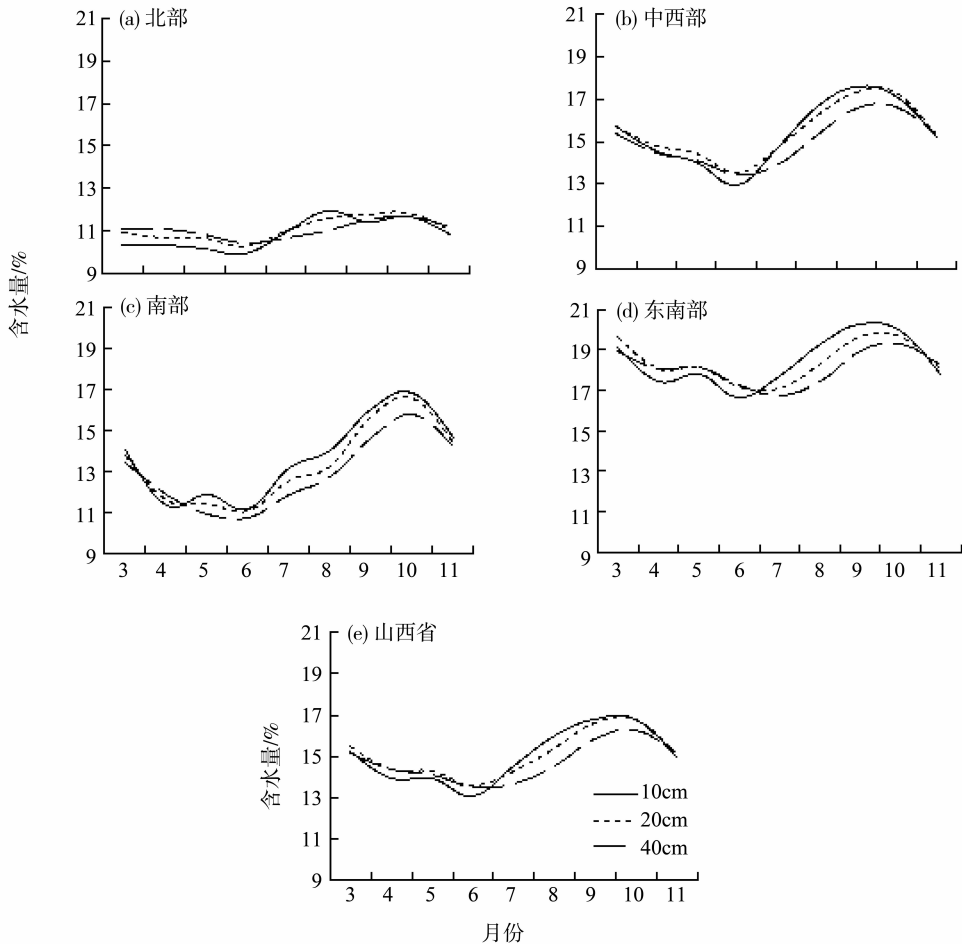


图 3 2003 - 2012 年山西省不同分区和不同土土层土壤含水量的逐月变化

Fig. 3 Monthly variation in soil water content in different regions and soil layers in Shanxi province during 2003 - 2012

2.3 土壤墒情的时程变化

2.3.1 土壤墒情的年际变化规律 2003 - 2005 年山西省土壤含水量减少, 2005 年达到该时段最小值, 然后增加, 增加到 2007 年后又开始减少, 直到 2009 再次增加 (图 4)。山西省的土壤水整体呈减少的趋势, 但不显著, 倾向率为 $-0.0107\% a^{-1}$ 。其中, 2003 年土壤水含量最大, 为 16.12%, 多年平均仅为 15.02%; 2009 年土壤水含量最小, 为 14.21%; 2005 年土壤水含量为 14.22%, 仅差 0.01%。山西省土壤水年际间的变化受降水因素的

影响明显, 降水丰富的年份比降水少的年份土壤含水量高。与土壤含水量相对应, 山西省 2003 年降水量也是十年中最大的, 为 78.2 mm; 2005 年和 2008 年的降水分别是 48.1 mm、47.5 mm, 为 10 年中降水最少 2 年。2009 年降水为 51.7 mm, 土壤水含量最小, 是因为 2008 年降水过少, 加上农作物生理需水的影响, 2009 年所降水量不能补给蒸发缺失的量, 致使 2009 年土壤水继续减少, 成为近 10 年土壤含水量最低年份。

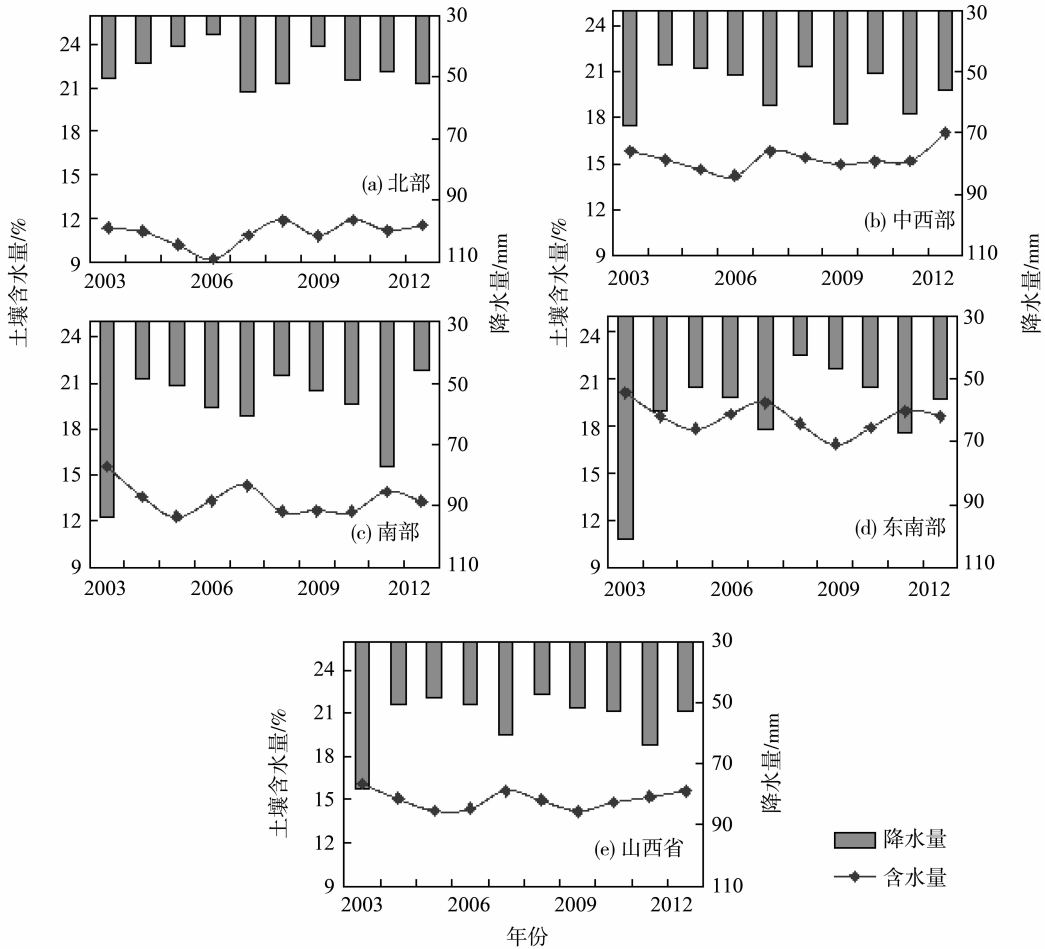


图 4 2003 - 2012 年山西省不同分区土壤含水量和降水量的年际变化

Fig. 4 Annual variation of soil moisture and precipitation in different regions in Shanxi province during 2003 - 2012

在 4 个分区中，北部和中西部都是增加趋势，其倾向率分别为 $0.0974\% a^{-1}$ 和 $0.0903\% a^{-1}$ ；南部和东南部均为减少趋势，倾向率分别为 $-0.1227\% a^{-1}$ 和 $-0.1099\% a^{-1}$ 。北部土壤含水量最大值在 2010 年，为 11.89% ；中西部在 2012 年，为 17.01% ；南部和东南部土壤水最大值在 2003 年，分别为 15.55% 和 20.10% ，且该年两分区降水最多。北部和中西部的土壤含水量在 2006 年最小，分别为 9.19% 和 14.23% ；南部的土壤水在

2005 年最小，为 12.32% ；东南部则在 2009 年最小，为 16.86% （图 4）。各分区中，除了中西部降水量和土壤含水量年际变化的相关性不好外，其他三个地区相关性都很好（表 3）。各分区气温和土壤水年际变化的相关性随降雨量的不同而不同，降雨量少的北部相关性最好，降雨量最多的东南部基本没有相关性。从表 3 来看，降水和气温与土壤含水量年际变化的相关性很大。

表 3 山西省不同分区土壤含水量与降水和气温的相关性分析¹⁾

Table 3 Correlationship between soil moisture and precipitation and temperature in different regions in Shanxi province

项目		北部	中西部	南部	东南部	全省
降水	年相关性	0.791**	0.242	0.811**	0.821**	0.745*
	月相关性	0.247	0.240	0.193	-0.135	0.126
气温	年相关性	-0.854**	-0.703*	-0.683*	-0.350	-0.786**
	月相关性	-0.110	-0.333	-0.468	-0.492	-0.395

1) ** 在 0.01 水平（双侧）上显著相关；* 在 0.05 水平（双侧）上显著相关

2.3.2 土壤墒情的季节变化规律 在干旱地区, 降雨是土壤水分的主要来源之一, 所以土壤水分的季节变化与降雨特征息息相关, 两者表现出相似的季节动态趋势^[18]。为了说明山西省土壤墒情的季节性变化特征, 本文绘制了山西省和 4 个分区的各层土壤水多年月平均值和降水随时间的变化曲线 (图 5)。从图中可以看出, 山西省及其各分区土壤水随季节的变化规律大致相似, 从 3 月份开始, 土壤水分开始逐渐减小, 到 6 月份时达到最低值。7 月份进入汛期, 降水开始增加, 土壤含水量随降雨量的增加而逐渐增加, 到 8 月份时降水达到最大值, 土壤含水量保持迅速增加。进入 9 月份后, 降水相比 8 月有所减少, 但降水远大于蒸发量, 所以土壤含水量仍持续增加。随着 10 月份降水的减小, 土壤含水量增加的幅度明显减小。11 月份降水变得更少, 土壤含水量也在急剧减小。南部除去在 9

月份降水达到最大值外, 变化规律与其他地区基本一致。

各层土壤含水量的变化趋势和平均值趋势一致, 呈现出先减后增再减的大致趋势 (图 3)。山西省除去东南部外, 各分区 3 月份的土壤含水量和 11 月份没有明显变化, 说明冬季土壤水含量的波动不大, 冬季山西省平均气温较低, 土壤水处于冰冻期。东南部 3 月份土壤水含量较 11 月份稍高, 是因为冬季前期降雨偏少, 后期降水偏多。

降水是影响土壤水的主要因素, 表 3 显示降水和气温同土壤含水量年际变化的相关性都很好, 但是月变化的相关性很差, 基本没有。Entin 等^[12]研究表明中国北部地区土壤水分的时间相关尺度为 1 月, 南部则约 2.5 月, 这也说明了降水和土壤含水量年际变化的相关性很好, 而月变化相关性很差的原因。

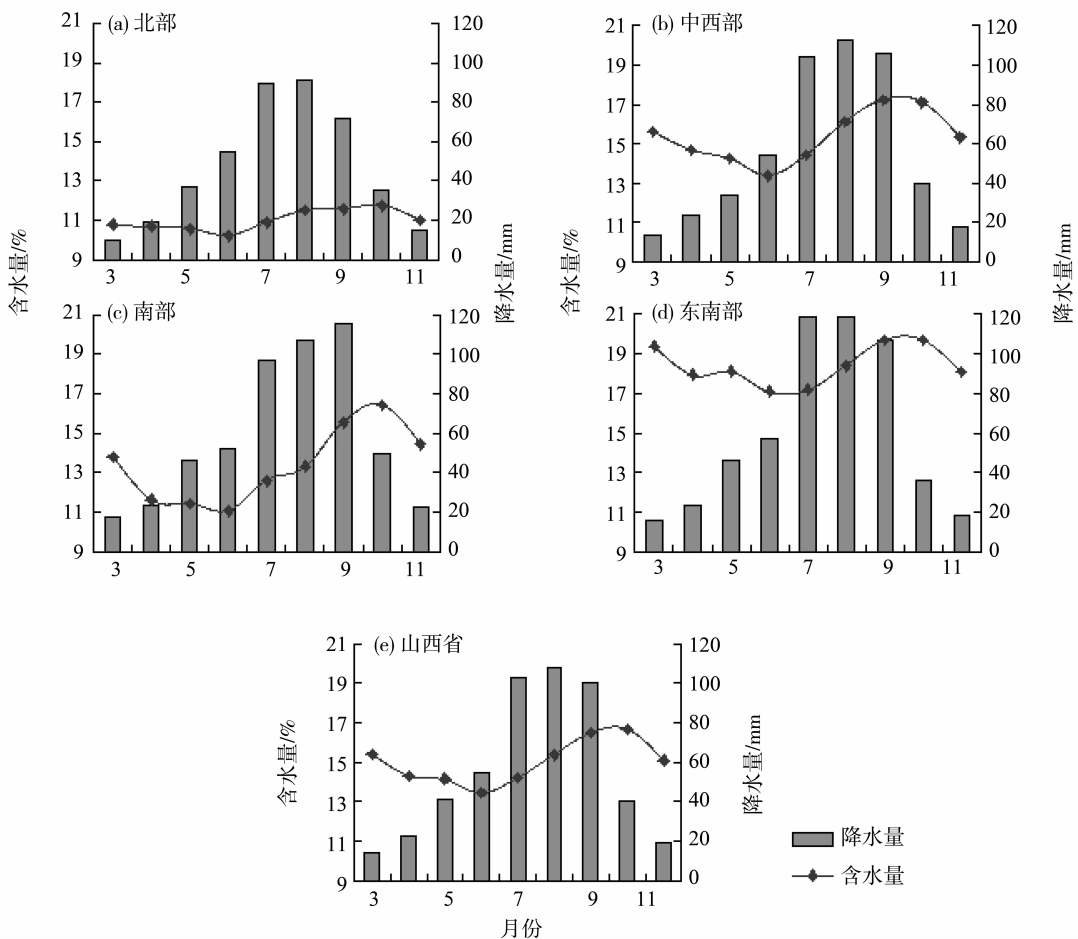


图 5 2003 - 2012 年山西省不同分区土壤含水量的季节变化

Fig. 5 Seasonal change of soil moisture and precipitation in different regions in Shanxi province during 2003 - 2012

3 结 论

1) 2003–2012年山西省土壤含水量的月平均值在6.30%~22.36%之间。高值出现在东南部的长治盆地,低值出现在北部地区大同盆地北端。东南部土壤含水量整体偏高,北部和南部整体偏低。10、20和40 cm土层土壤含水量分别为15.10%、15.11%和14.75%。水平空间各层变化规律与均值一致,纵向空间各层变幅由上到下依次变小。

2) 2003–2012年山西省土壤含水量变化趋势整体减少,且减少不显著。2003、2007和2012年为高值年,2005和2009年为低值年。土壤水高值年中降水量比较多,气温偏低;低值年降水则较少,气温偏高。

3) 从季节变化的角度来看,山西省土壤含水量,从3月份开始土壤含水量缓慢减少,到6月份达到最小值后开始迅速增加,经过9、10月份的缓慢增加后又开始减少。土壤墒情年内变化可分为4个阶段:春季缓慢失墒期、夏季快速增墒期、秋季增失过渡期和冬季稳墒期。

4) 降水是影响山西省土壤含水量时空变化的主导因素,其次是气温。除去中西部外,其余3个分区降水和土壤水的年际相关性很大。气温和土壤水的年际相关性则受到降水量多少的制约(表3)。一般情况,土壤含水量随降水量的多寡而变化,气温对土壤含水量的年际变化有一定的影响,年内变化影响不大,空间上影响也不大。

参考文献:

- [1] PARRY ML. Climate Change and World Agriculture [M]. London: Earth Scan Publications Ltd, IASA, UNEP, 1990.
- [2] 裘国旺,赵艳霞,王石立. 气候变化对我国北方农牧交错带及其气候产生的影响[J]. 干旱区研究, 2001, 18(3): 23–28.
- [3] 马柱国,符淙斌. 中国干旱和半干旱带的10年际演变特征[J]. 地球物理学报, 2005, 48(3): 519–525.
- [4] 赵桂香,赵彩萍,李新生,等. 近47 a来山西省气候变化分析[J]. 干旱区研究, 2006, 23(3): 500–505.
- [5] 崔蕾,潘铮,郝振纯,等. 山西省近46年气温分析[J]. 山西水利科技, 2013(1): 77–80.
- [6] 张国宏,郭慕萍,赵海英. 近45年山西省降水变化特征[J]. 干旱区研究, 2008, 25(6): 858–862.
- [7] 罗俐雅,冯德程,许明家. 近三年徐州市土壤墒情时空变化分析[J]. 水文, 2012, 32(2): 84–87.
- [8] 贾利芳,梁进秋,鲁向柳,等. 大同市2011年土壤墒情分析[J]. 农业与科技, 2012, 32(6): 114–115.
- [9] 邱扬,傅伯杰,王军,等. 土壤水分时空变异及其与环境因子的关系[J]. 生态学杂志, 2007, 26(1): 100–107.
- [10] 张强,黄生志,陈晓宏. 基于支持向量机的土壤湿度模拟及预测研究[J]. 土壤学报, 2012, 5(1): 59–67.
- [11] BLOSCHL G, SIVAPALAN M. Scale issues in hydrological modeling: A review[J]. Hydrological Processes, 1995, 9: 251–290.
- [12] ENTIN JK, ROBOCK A, VINNIKOV KY, et al. Temporal and spatial scales of observed soil moisture variations in the extratropics[J]. Journal of Geophysical Research, 2000, 105(9): 11865–11877.
- [13] 李景玉,张志果,徐宗学,等. 影响西藏地区蒸发皿蒸发量的主要气象因素分析[J]. 亚热带资源与环境学报, 2009, 4(04): 20–29.
- [14] 中华人民共和国水利行业标准. SL364–2006 土壤墒情监测规范[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2007.
- [15] LIBISELLER C. A program for the computation of multivariate and partial Mann—Kendall test [R]. Sweden: University of Linkoping, 2002.
- [16] 张宏,温永宁,刘爱利. 地理信息系统算法基础[M]. 北京:科学出版社, 2006.
- [17] 朱求安,张万昌,余钧辉. 基于GIS的空间插值方法研究[J]. 江西师范大学学报:自然科学版, 2004, 28(2): 184.
- [18] QIU Y, FU B, WANG J, et al. Spatiotemporal prediction of soil moisture content for an event-based hydrology model in a gully catchment of the Loess Plateau[J]. China Catena, 2003, 54: 173–196.