

# 干旱区农田土壤水分地温变化规律及其相互关系

张建兵<sup>1</sup>,熊黑钢<sup>2,3</sup>,李宝富<sup>4</sup>,龙桃<sup>5</sup>

(1.中国科学院南京土壤研究所,江苏南京 210008; 2.北京联合大学应用文理学院,北京 100083;  
3.教育部绿洲重点实验室,新疆乌鲁木齐 830046; 4.中国科学院新疆生态与地理研究所,新疆乌鲁木齐 830011;  
5.重庆市永川区国土资源和房屋管理局,重庆 402160)

**摘要:**以干旱区农田灌溉后土壤水分、地温实测数据为基础,研究了其土壤水分、地温各自的变化规律及两者的相互关系。结果表明,各层含水量之间具有高相关性,基本达到了极显著的水平。这与土壤水分灌溉时由上而下的逐渐下渗,以及蒸发时由下而上的逐层上升有密切的关系。各层地温间的相关性大,除地面温度外,其余各层地温间的相关水平为显著或极显著水平,且相邻土层地温间均呈极显著相关。土壤水分及地温剖面垂直变化特征明显,并具有动态性。土壤水分含量大时,两者的垂直变异系数小,反之变异系数大。0~20 cm、地面(0 cm)分别为剖面含水量及地温变异强度的最大层,属中等变异强度。土壤水分及温度之间的负相关性明显。地面温度是预测表层、底层土壤水分的良好指标,利用回归分析法建立的土壤水分与地温间的函数关系可为推测土壤水分提供依据。

**关键词:**土壤水分;地温;相互关系;干旱区

**中图分类号:** S152.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)02-0127-07

## The variation rule and interrelationship of farmland soil moisture content and ground temperature in arid areas

ZHANG Jian-bing<sup>1</sup>, XIONG Hei-gang<sup>2,3</sup>, LI Bao-fu<sup>4</sup>, LONG Tao<sup>5</sup>

(1. Institute of Soil Science, Chinese Academy of sciences, Nanjing, Jiangsu 210008, China;  
2. Urban Department of College of Art and Science of Beijing Union University, Beijing 100083, China;  
3. Key Laboratory of Oasis Ecology of Ministry of Education, Urumqi, Xinjiang 830046, China;  
4. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Science, Urumqi, Xinjiang 830011, China;  
5. Land Resource and Housing Management Bureau of Yongchuan District, Chongqing 402160, China)

**Abstract:** Based on the data of irrigated farmland soil moisture content and ground temperature, this paper studied their variation rules and coupling relationships. The results showed that soil moisture content of each layer correlated significantly because the soil water infiltrated from top to bottom layer by layer when irrigation, and reversed when evaporation. The correlation of each layer ground temperature was obvious. Except for land surface temperature, ground temperature of soil layers had significant correlations especially the adjacent soil layers. The vertical variation characters of soil moisture content and ground temperature were distinct and dynamic. When it comes to high soil moisture content, their vertical variation coefficient was small; however variability became bigger when soil moisture content decreased. Both of the land surface ground temperature and soil moisture of 0~20 cm soil layer had middle variation, which is the highest variation of ground temperature and soil moisture content. Soil moisture content and ground temperature had obviously negative correlation. Land surface temperature was a good factor to forecast soil moisture content of the top and bottom soil layer. The linear regression equation of soil moisture content and ground temperature could be helpful for soil moisture content forecasting.

**Keywords:** soil moisture content; soil temperature; interrelationship; arid area

收稿日期:2012-07-26

基金项目:国家自然科学基金(41171165);北京市属高等学校人才强教计划资助项目(PHR200906125);北京联合大学人才强校计划人才资助项目(BPHR2012E01)

作者简介:张建兵(1984—),男,四川广安人,博士生,主要从事土壤和水资源利用与管理方面研究。E-mail:zhangjianbing666@163.com。

通信作者:熊黑钢(1956—),男,教授,博士,现主要从事干旱区研究。E-mail:xhg1956@sohu.com。

灌溉是影响干旱区绿洲农业生产的最主要因素之一。农田灌溉后,随着土壤含水量增加,土壤温度也随之发生变化,两者相互影响并形成特有的规律。温度日周期性变化和年周期性变化在一定程度上影响土壤含水量的垂向分布;无地面水分补给时,土壤中的含水量变化与地温的日变化有关,土壤水的热运动是土壤层向蒸发面供水的最重要的因素之一<sup>[1-5]</sup>。土壤中水势梯度与温度梯度的同时存在会引起热量与水分的同时传输<sup>[6]</sup>。水分是土壤的重要组成部分,它不仅影响土壤的物理性质,制约着土壤中养分的溶解、转移和微生物的活动,而且是作物需水的直接来源,为一切作(植)物赖以生存的基本条件。土壤温度则直接影响着作物的生长发育及其产量,同时也影响土壤微生物的活动。土壤中的一切生命活动和化学过程,如有机质的分解、矿物质的风化、养分的转化等都伴随着热量的吸收和释放<sup>[7-13]</sup>。在非等温条件下,土壤中的水热传输是交互进行、相互影响的。温度梯度通过影响水势场而影响土壤中水以及水蒸气的传输;同时,水的移动也会携带热量,土壤中的水汽传输也会引起热量的运移。因此,它们是认识农田水利灌溉、作物生长以及土壤墒情两个至关重要的量<sup>[14]</sup>。土壤温度变化引起土壤持水性质的变化在干旱和半干旱地区表现尤为显著<sup>[15]</sup>,因为这些地区表层土壤温度每日的、季节的变化均极为强烈<sup>[16]</sup>。

土壤是农业生产的基本资料和作物生长的重要环境条件。研究作物生长发育期内农田土壤水分及地温的变化规律,讨论两者之间的相互关系,对于探明土壤水分的盈亏,作物根系层的温度情况,作出适时的灌溉、施肥决策或排水措施等具有重要意义<sup>[17]</sup>。本文根据在新疆奇台县作物生长期所观测的一个灌溉周期中的农田土壤水分及地温数据,深入探讨了两者的各自的变化规律及其之间的关系,可为提高农田的保墒能力、促进农业生产提供科学依据。

## 1 研究区概况

研究区位于新疆维吾尔自治区奇台县西北部满营湖区奇台一中林场,其临近沙漠,属典型的绿洲-荒漠过渡带,年平均气温为 4.7℃,7 月份极端最高气温 43℃,1 月份极端最低气温为零下 42.6℃。年平均降水量为 176 mm,蒸发量为 2 141 mm,无霜期平均 156 d,年日照时数 2 840~3 230 h,夏季炎热,冬季寒冷,属于中温带大陆性干旱半干旱气候。研究区土壤 pH 值较高(>8.0),呈强碱性,土壤类型

为砂土(美国制土壤类型划分标准);地下水埋深一般在 1.5~4.0 m;常见天然植被主要有芨芨(*Achnatherum splendens*)、芦苇(*Phragmites australis*)、苦豆子(*Sophora alopecuroides*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、花花柴(*Karelinia caspica*)等;种植作物主要有西瓜、葵花、小麦等。

## 2 研究方法

在林场选取一葵花田块,观测灌溉后其土壤水分及地温的变化情况并讨论两者之间的关系。试验日期为 2008 年 7 月 31 日至 8 月 8 日(该时间为当地葵花开花时间,气温高,浇水频繁,10 d 左右为一个灌溉周期),其中灌溉时间为 7 月 30 日,其方式为大水漫灌,灌溉量为 3 000 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>,8 月 5 日为降雨天气。土壤水分和地温的具体观测时间分别为每天 8:00、20:00;8:00、14:00 及 20:00。前者观测深度 100 cm,并划分为 0~20,20~40,40~60,60~80,80~100 cm 5 层,实际观测时每层水平旋转读取 5 个观测值,取其平均值为该层含水量值。后者具体观测项目为地面温度(0 cm)、地面最高温度、地面最低温度以及 5 cm、10 cm、15 cm、20 cm、40 cm 土层温度。

土壤含水量测量仪器为德国 IMKO 公司生产的 TRIME-T3 管式 TDR 土壤含水量测量系统。测量范围为 0~60% 体积含水量,最大测深 3 m;测量精度:当含水量为 0~40% 时是 ±2%,含水量为 40%~60% 时是 ±3%,标定误差小,满足精度要求。TDR 导管于 2008 年 4 月埋设于试验地中。地温采用曲管地温表、直管地温表测量。

## 3 结果分析

### 3.1 土壤水分的变化特征

3.1.1 土壤水分统计特征 剖面各层土壤水分具有差异性。观测期表层(0~20 cm)土壤含水量的各项值均最低,而作物根系层(20~60 cm)最高,深层则介于两者之间。土壤含水量变化最大与最小的土层为 0~20 cm、60~80 cm,变化区间值分别为 5.02%,2.41%。

变异系数 CV 的大小反映了土壤水分的变异性大小,一般认为:变异系数 CV ≤ 0.1 时为弱变异性;0.1 < CV < 1 时为中等变异性;CV ≥ 1 时为强变异性<sup>[18]</sup>。表层土壤水分为中等变异性,而其他各土层深度及整个剖面属于弱变异性(表 1)。土壤所处深度决定了其受外界因素影响的强度,从而直接影响该土层的涵水能力、决定其含水量。表层土壤是整个土壤圈与外界环境的接触面,直接受到外在环境

的影响,相对于深层土壤来说,其环境具有太阳辐射强、温度高、蒸发大、风速快以及受人类活动影响显著的特点,从而导致水分含量低、变异性强。因此,该层土壤水分的方差、标准差及变异系数最大,其他

土层偏小。随着土层深度的增加,土壤环境因受外界影响的强度减小而保持着相对稳定的状态,变异性小,各变异指标值低(表 1)。

表 1 各层土壤水分的统计特征值

Table 1 Statistical eigenvalues of soil water content

土层深度/cm Soil depth	最大值/v% Max.	最小值/v% Min.	平均值/v% Mean value	方差 Var.	标准差 SD	变异系数 CV
0~20	20.39	15.37	17.86	4.78	2.19	0.12
20~40	25.06	20.17	22.71	2.79	1.67	0.07
40~60	23.20	19.25	21.66	1.63	1.28	0.06
60~80	22.00	19.59	20.71	0.84	0.91	0.04
80~100	21.91	18.91	20.33	1.12	1.06	0.05
剖面均值 Mean value	22.51	18.89	20.65	1.84	1.36	0.07

3.1.2 各层土壤含水量的相关性分析 土壤各层含水量之间相关性高。除 40~60 cm 土层外,其它各层含水量之间均为极显著相关,且各层含水量与剖面平均含水量的相关性水平也为极显著(表 2)。灌溉时,水分在重力作用下由表层依次下渗,而蒸发

时,水分在温度梯度的影响下由下层逐层向上,因此各层土壤水分之间联系紧密,相互影响作用明显。但植物根系下层(40~60 cm)土层的水分只与其上 20~40 cm 土层水分呈极显著相关,表现出其特殊性。

表 2 各层含水量间 Person 相关系数

Table 2 The Person correlation index of soil water layers

土层/cm Soil depth	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	平均 Mean value
0~20	1.00	0.90**	0.82*	0.95**	0.96**	0.97**
20~40	0.90**	1.00	0.90**	0.96**	0.89**	0.97**
40~60	0.82*	0.90**	1.00	0.77*	0.73	0.89**
60~80	0.95**	0.96**	0.77*	1.00	0.98**	0.97**
80~100	0.96**	0.89**	0.73	0.98**	1.00	0.95**
平均 Mean value	0.97**	0.97**	0.89**	0.97**	0.95**	1.00

注: \*\* 表示极显著相关(P=0.01); \* 表示显著相关(P=0.05)

3.1.3 土壤水分的垂直变化特征 观测期土壤平均含水量从表层(0~20 cm)的最低值 17.86% 骤升至植物根系上层(20~40 cm)的最高值 22.72%。向下水分含量逐渐降低,且越往下,各层土壤水分含量的差值越小。植物根系层(20~40 cm)始终为剖面土壤含水量最高层(图 1)。

从灌溉后第一次观测(7月31日)、降雨前(8月4日)及降雨后(8月6日)3个特征日期土壤水分的观测值来看(表 3),土壤水分的垂直变化具有另一特征,即剖面土壤在有一定量外界水分补给时,各层之间的差异性小(垂直变异弱),反之,差异性大(垂直变异强)。3个特征日剖面土壤水分的最大值与最小值的差值分别为 4.67%,6.03%,3.13%;变异系数分别为 0.08,0.13,0.06,反映出灌溉(降雨)对土壤水分垂直分布的直接影响。7月31日的差值及变异系数均大于8月6日的原因分析:7月31日

为大水量灌溉后的第一次观测,测量时间距结束灌溉时间不长,水分还没有充分下渗,未达到比较均匀的分布状态,导致 20~40 cm 水分过高,从而使得其差值及变异系数偏大;而8月5日的降雨持续时间

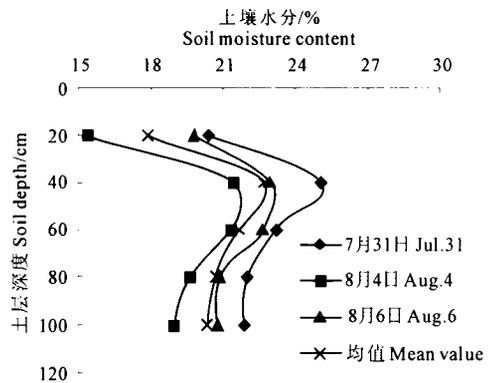


图 1 土壤水分垂直变化特征

Fig.1 The vertical variation characters of soil water

长(7:00~23:00),降雨量为 12.80 mm,这种长时间低强度的降雨方式十分利于水分的充分下渗,使各层土壤水分达到较大持水量且较均匀的分布状态。这也证明,类似长时间低强度降雨的均匀灌溉方式(如滴灌)比大水量浇灌方式更利于水分的充分下渗<sup>[19]</sup>。

表 3 特征日期剖面土壤水分统计特征值

Table 3 Statistical eigenvalues of soil water content in special dates

特征值 Characteristic value	7月31日 Jul.31	8月4日 Aug.4	8月6日 Aug.6	平均值 Mean value
最大值 Max./v%	25.06	21.40	22.90	22.71
最小值 Min./v%	20.39	15.37	19.77	17.86
变化区间 Range/v%	4.67	6.03	3.13	4.84
均值 Mean value/v%	22.51	19.31	21.39	20.65
方差 Var.	3.02	6.02	1.79	3.28
标准差 SD	1.74	2.45	1.34	1.81
变异系数 CV	0.08	0.13	0.06	0.09

3.1.4 土壤水分时序变化特征 在灌溉后而无外界水分补给时(7月31日至8月4日)各层含量迅速减小,在8月4日达到各自的最低值;8月5日降雨后,各层土壤水分增加明显,而后又进入水分的损失消耗阶段(图2)。一方面8月初为葵花的开花期,生长旺盛,水分需求大,对土壤水分的吸收强烈;另一方面夏季蒸发强烈,从而导致该时期土壤水分变化明显。

各土层含水量及剖面均值的时序变化趋势一致,但变化程度各异,表层土壤含水量时间序列曲线波动性大,而其余各层则较平缓(图2),造成其不同

的直接原因是所处环境的差异。

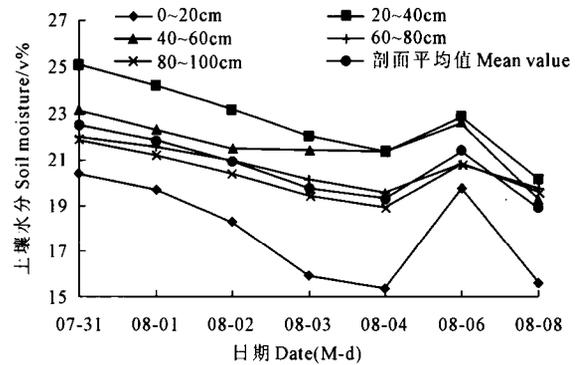


图 2 土壤水分时序变化特征

Fig.2 The temporal variation characters of soil water

### 3.2 土壤温度的变化特征

3.2.1 土壤温度统计特征 土壤温度的统计特征值显示,各土层地温差异明显,地面温度各项指标值及其温差均大于 0 cm 以下土层。观测期地面最高温度最大值(55.5℃)与地面最低温度最小值(10.50℃)之差值为 45.0℃;5~40 cm 地温则在 19.27℃~28.83℃之间波动,温差为 9.56℃,仅为地面温差的 21.24%(表4)。同时,各土层地温变异程度不一,变异指标(方差、标准差、变异系数)差别明显,地面地温变异强,0 cm(CV=0.10)、地面最高(CV=0.12)、最低(CV=0.17)为中等变异强度;0 cm 以下土层地温为弱变异,且其变异性随着土层深度增加而减弱,变异系数从 5 cm 的 0.09 降为 40 cm 的 0.04。这同剖面各层土壤水分的变异性一样,受土壤环境直接影响。

表 4 土壤温度统计特征值

Table 4 Statistical eigenvalues of soil temperature

土层深度 Soil depth	最大值/℃ Max.	最小值/℃ Min.	平均值/℃ Mean	方差 Var.	标准差 SD	变异系数 CV
地面(0 cm)	35.17	25.83	30.79	9.83	3.14	0.10
地面最高 Highest temperature of land surface	55.50	39.50	48.69	34.39	5.86	0.12
地面最低 Lowest temperature of land surface	18.20	10.50	14.84	6.48	2.54	0.17
5 cm	28.83	22.33	25.98	5.08	2.25	0.09
10 cm	25.83	20.17	23.76	4.23	2.06	0.09
15 cm	24.90	19.77	22.93	3.61	1.90	0.08
20 cm	23.03	19.27	21.53	2.06	1.44	0.07
40 cm	21.97	19.57	20.55	0.85	0.92	0.04

3.2.2 土壤温度垂直变化 土壤温度的垂直变化图(图3)表明,通常情况下随着土层深度的增加温度降低,而在天气突变(降雨),气温降低后的一段时

间内(8月6日),深层土壤温度高于浅层。土壤温度能量直接来源于地表所吸收的太阳辐射,地面以下地温依赖于地表能量的向下传递,所以距离地表

越远,所得到的热量越少,温度越低;反之,当地面温度降低时,深层土壤由于其相对稳定的环境而具有一定的保温作用,温度高于浅层。8月5日的降雨天气使浅层土壤温度降低,8月6日尚未恢复,致使农田40 cm地温高于20 cm地温。

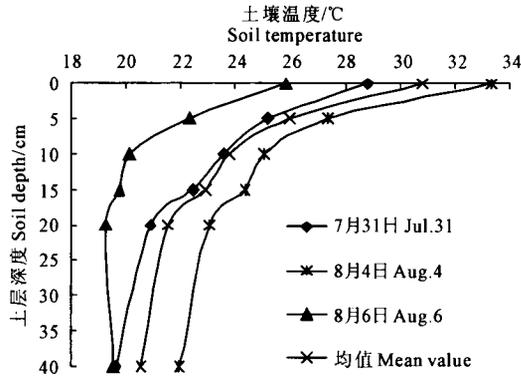


图 3 土壤温度的垂直变化特征

Fig.3 The vertical variation characters of soil temperature

另外,在不同气温及土壤含水量情况下,土壤温度垂直变化特征具有差异。农田3个特征日期土壤温度的变化区间分别为9.20℃,11.37℃,6.57℃,反映出气温低、土壤含水量较高时,土壤温度的垂直变幅小,变异弱,反之土壤温度的变幅大,变异强(表5)。

3.2.3 各层土壤温度的相关性分析 虽然各土层温度之间的相关性水平有所差异,但总体相关性大,且均与剖面地温均值之间呈极显著相关(表6)。由于受外界因素影响大,地面温度(0 cm,最高及最低

温度)之间及与其它各层地温之间关系较为复杂,规律性不明显。而地面以下各土层温度间的相关水平基本呈极显著或显著相关,但与相邻层的相关水平基本上为极显著,并呈现出随着与自身距离的增大,相关系数有所减小,显著性水平降低;反之相关系数增大,显著性水平升高。

表 5 特征日期土壤温度统计特征值/℃

Table 5 Statistical eigenvalues of soil temperature in special dates

特征值 Characteristic value	07-31 Jul.31	08-04 Aug.4	08-06 Aug.6	平均值 Mean value
最大值 Max.	28.83	33.33	25.83	30.79
最小值 Min.	19.63	21.97	19.27	20.55
变化区间 Range	9.20	11.37	6.57	10.23
均值 Mean value	23.43	25.86	21.16	24.26
方差 Var.	10.83	16.83	6.45	13.74
标准差 SD	3.29	4.10	2.54	3.71
变异系数 CV	0.14	0.16	0.12	0.15

地温之间相关系数的大小及其显著性水平与地温热量来源、土壤中的热传导作用密切相关。土壤热量来源于地表,地表最高温度表示地面接受太阳辐射而转换成的最大热能,这决定了向下传递热量的多少,直接影响地面以下各层地温,所以其与各土层温度的相关性水平基本呈极显著相关。另外,各土层除接收上层土壤热量形成自己的温度外,还向下传递热量,即一个土层的温度与上下两层土壤温度之间发生直接联系,因此相邻土层地温之间的相关性极显著。

表 6 各层地温间的 Person 相关系数

Table 6 The Person correlation index of soil profile temperature

土层深度 Soil depth	0 cm	max	min	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	40 cm	ave
0 cm	1.00	0.87a	0.65	0.79b	0.74	0.75	0.70	0.79b	0.87a
max	0.87a	1.00	0.78b	0.96a	0.92a	0.94a	0.90a	0.89a	0.97a
min	0.65	0.78b	1.00	0.86b	0.91a	0.91a	0.92a	0.80b	0.88a
5 cm	0.79b	0.96a	0.86b	1.00	0.99a	0.99a	0.95a	0.84b	0.98a
10 cm	0.74	0.92a	0.91a	0.99a	1.00	0.99a	0.95a	0.80b	0.96a
15 cm	0.75	0.94a	0.91a	0.99a	0.99a	1.00	0.97a	0.84b	0.97a
20 cm	0.70	0.90a	0.92a	0.95a	0.95a	0.97a	1.00	0.88a	0.95a
40 cm	0.79b	0.89a	0.80b	0.84b	0.80b	0.84b	0.88a	1.00	0.89a
ave	0.87a	0.97a	0.88a	0.98a	0.96a	0.97a	0.95a	0.89a	1.00

注: max 表示地面最高温度, min 表示地面最低温度, ave 表示 0~40 cm 土层温度均值; a 表示极显著相关(P=0.01), b 表示显著相关(P=0.05)。

3.2.4 地温的时序变化特征 观测期农田各层地温随时间的推移而发生波动,且具有一致的变化趋势,但各层变化程度不一(图4)。地面最高温度曲线高居于其他各温度趋势线之上,并在8月3日达

到其最高值(55.5℃);其余各土层温度分别在8月3日(0.5、10、15、20 cm)、4日(40 cm)达到其各自最高值,在8月6日达到各自的最低值。随土层深度加大,地温变幅逐渐减小,其中40 cm土层温度达最

小变幅,最高与最低值之差仅为 2.4℃。

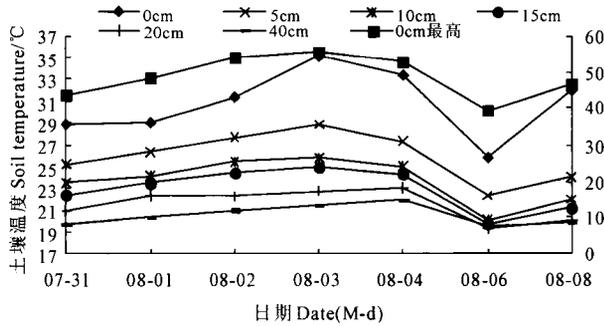


图 4 土壤温度时序变化特征

Fig.4 The temporal variation characters of soil temperature

### 3.3 土壤水分与地温变化的关系

各土层含水量及剖面水分均值与各层地温之间的 Person 相关系数表明,除少数层土壤含水量与地面最低温度、10、15、20 cm 地温存在低水平正相关外,其他各土层含水量与地温之间均存在负相关(表 7)。其中,0 cm 地温与 0~20、80~100 cm 土壤含水

量的负相关值达 -0.85、-0.75,并呈显著水平。含水量的变化直接影响土壤的比热容,从而影响地温的变化。含水量高时,地温升温慢,两者反向变化导致了负相关。表层土壤水分易受到外界干扰,特别是在温度的影响下变化活跃,温度越高,蒸发越强,含水量减小迅速,反之则高。而随着土层深度的增加,环境逐渐稳定,所以两者之间的相关性不显著。

表层土壤含水量与地面温度之间的反差在 8 月 4 日 8 时达最大,而 8 月 6 日 20 时达最低。8 月 4 日为高温天气的延续(8 月 3 日地面最高温度为观测期的最高值 55.5℃),早 8 点温度较高,而土壤水分在连续高温、强蒸发环境下减少到降雨前最低水平,所以两者反差性大;8 月 6 日的情况则较复杂,由于前一天的降雨天气使得早 8 时土壤水分值大,地面温度低,反差较大,而在 20 时,土壤水分在一天的消耗后减小,而地温开始上升,两者在趋势上相向运动,反差迅速减小(图 5)。

表 7 各层土壤含水量与各层地温之间的 Person 相关系数

Table 7 The Person correlation index of soil water and temperature of each layer

土层深度 Soil depth /cm	地面 Land surface	地面最高 Highest temperature of land surface	地面最低 Lowest temperature of land surface	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	40 cm
0~20	-0.85b	-0.61	-0.32	-0.42	-0.34	-0.37	-0.38	-0.67
20~40	-0.56	-0.27	0.10	-0.01	0.09	0.05	0.02	-0.35
40~60	-0.59	-0.35	0.05	-0.09	-0.03	-0.04	-0.04	-0.25
60~80	-0.66	-0.41	-0.11	-0.19	-0.09	-0.14	-0.18	-0.57
80~100	-0.75b	-0.59	-0.28	-0.38	-0.28	-0.34	-0.38	-0.73
平均 Mean value	-0.73	-0.48	-0.13	-0.24	-0.15	-0.19	-0.21	-0.54

注:a 表示极显著相关(P=0.01);b 表示显著相关(P=0.05)。

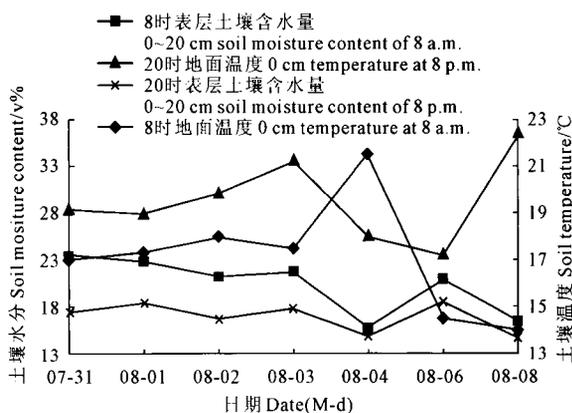


图 5 观测期不同时段表层土壤水分与地面温度的变化特征

Fig.5 The variation characters of soil water and temperature in different period of time

建立土壤含水量与地温的定量化关系有利于根据土壤温度值对土壤水分状况进行估值(农田土壤温度的观测相对于土壤水分来说比较简单方便且经济,也不会对土体造成破坏),这对了解土壤墒情、确定灌溉时间具有重要意义。由于仅地面温度与表层(0~20 cm)及底层(80~100 cm)土壤含水量的相关性达到显著水平,分别对其进行回归分析,得到方程:

$$y_1 = 0.0405x^3 - 3.734x^2 + 113.36x - 1115.5$$

$$(R^2 = 0.93)$$

$$y_2 = 0.0256x^3 - 2.3654x^2 + 72.261x - 708.08$$

$$(R^2 = 0.95)$$

式中: $y_1$ 、 $y_2$  分别为表层土壤含水量、底层土壤含水量; $x$  为地面温度。

## 4 结论与讨论

由于土壤水分下渗以及蒸发是逐层进行的,使得各层含水量之间具有高相关性,基本达到了极显著的水平。土壤水分的垂直变异性明显且具有动态性,当剖面整体含水量高时变异性弱,反之则强。同时,各层含水量的变异强度不同,表层土壤水分为中等变异性(CV值为0.12),其他各土层深度及整个剖面属于弱变异性(CV值在0.04~0.07之间)。

除地面温度外,其余各层地温间的相关水平为显著或极显著水平,且相邻土层地温间均呈极显著相关。地表温度与地面以下土层温度差别大,前者受环境影响程度深,温差大,变异强,而后者则相反。同时,土壤含水量高时其变异弱,而含水量低时则变异强。

剖面各层土壤含水量与各土层地温基本呈负相关。0 cm的地温与各土层含水量的相关系数较高,是重要的预测0~20、80~100 cm土壤含水量的指标。

### 参考文献:

- [1] 秦红灵,李春阳,高旺盛,等.北方农牧交错带干旱区保护性耕作对土壤水分的影响研究[J].干旱地区农业研究,2005,23(6):22-25.
- [2] 董庆超.旱地土壤水分盈亏特征研究[J].资源科学,2000,22(6):51-53.
- [3] 李朝生,杨晓晖,张克斌,等.沙漠-绿洲系统中降雨、土壤水分与地下水位的响应特征[J].北京林业大学学报,2007,29(4):129-135.
- [4] 李建龙,蒋平,刘培君,等.利用遥感光谱法进行农田土壤水分遥感动态监测[J].生态学报,2003,23(8):1498-1504.
- [5] 苏玉杰,周景春,孔姐,等.耕层土壤含水量消长规律分析[J].水文,2007,27(3):50-52.
- [6] 史小红,李畅游,刘廷玺.科尔沁沙地坳间相间地区土壤水分空间分布特征性分析[J].中国沙漠,2007,27(5):837-842.
- [7] 逢春浩.土壤水分测定方法的新进展-TDR测定仪[J].干旱区资源与环境,1994,8(2):69-76.
- [8] 李慧星,夏自强,马广慧.含水量变化对土壤温度和水分交换的影响研究[J].河海大学学报(自然科学版),2007,35(2):172-175.
- [9] 王琳琳,高志球,沈新勇,等.土壤水分的垂直运动对黄土高原糜田土壤温度的影响[J].南京气象学院学报,2008,31(3):363-368.
- [10] 谢贤群.我国北方地区农业生态系统水分运行及区域分异规律研究的内涵和研究进展[J].地球科学进展,2003,18(3):440-446.
- [11] 王积强,李国振,陈韶君,等.土壤水分不停运动和转化不存在零通量面(一)[J].干旱区地理,1992,15(49):92-99.
- [12] 张富仓,张一平,张君常.温度对土壤水分保持影响的研究[J].土壤学报,1997,34(2):160-169.
- [13] 夏自强.温度变化对土壤水运动影响研究[J].地球信息科学,2001,4:19-24.
- [14] 冯宝平,张展羽,张建丰,等.温度对土壤水分运动影响的研究进展[J].水科学进展,2002,13(5):643-648.
- [15] 汪志荣,张建丰,王文焰,等.温度影响下土壤水分运动模型[J].水利学报,2002,10:46-50.
- [16] 孟春雷.土壤蒸发及水热传输研究综述[J].土壤通报,2007,38(2):374-377.
- [17] 龚元石,李子忠,廖超子,等.应用时域反射仪测定农田土壤水分[J].水科学进展,1997,8(4):329-334.
- [18] 雷志栋,杨诗秀,谢森传.土壤水动力学[M].北京:清华大学出版社,1988.
- [19] 新疆农业厅,新疆土壤普查办公室.新疆土壤[M].北京:科学出版社,1996,458,464.
- [12] 王克如,李少昆,黄连莆,等.高产棉田氮、磷、钾吸收动态及模式初步研究[J].中国农业科学,2003,36(7):775-780.
- [13] 关义新,林葆,凌碧莹.光氮及其互作对玉米幼苗叶片光合作用和碳、氮代谢的影响[J].作物学报,2000,26(6):806-812.
- [14] 袁野,吴凤芝,周新刚.光氮互作对番茄果实糖积累及蔗糖代谢相关酶活性的影响[J].中国农业科学,2009,42(4):1331-1338.
- [15] 赵英,张开春,张春山,等.新疆特色林果业发展面临的机遇与挑战[J].北方园艺,2011,19(1):166-168.
- [16] 晋瑜,潘存德.新疆环塔里木盆地林果产业发展现状及对策[J].林业资源管理,2009,(4):33-35.
- [17] 邹琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,1995:36-39.
- [18] 邹琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2000:54-55,58-59.
- [19] 邹飞波,许馥华,金球群.利用叶绿素计对短季棉氮素营养诊断的初步研究[J].作物学报,1999,25(4):483-488.
- [20] 王俊忠.施氮对高产夏玉米源库代谢特征的调控[D].兰州:甘肃农业大学,2010.
- [21] 孙红春,李存东,周彦珍.不同氮素水平对棉花功能叶生理特性、植株性状及产量构成的影响[J].河北农业大学学报,2005,28(6):8-14.
- [22] Sanchez E, Rivero R M, Ruiz J M, et al. Changes in biomass, enzymatic activity and protein concentration in roots and leaves of green bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike) under high  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  application rates[J]. Scientific Horticulture, 2004,99:237-248.
- [23] 朱建芬,张永江,孙传范,等.氮钾营养对棉花主茎功能叶衰老的生理效应研究[J].棉花学报,2010,22(4):354-359.
- [24] 刘连涛,李存东,孙红春,等.氮素营养水平对棉花不同部位叶片衰老的生理效应[J].植物营养与肥料学报,2007,13(5):910-914.

(上接第94页)