

# 黄土塬区农田土壤温度变化特征研究

何汇虹<sup>1</sup>, 刘文兆<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:**根据长武农业生态试验站深剖面土壤水热观测场 2011 年的观测资料,分析了农田土壤温度日变化、季节变化特征及其与休闲地土壤温度的差异。结果表明:农田 0—20 cm(冬季 0—10 cm)土层土壤温度呈正弦曲线趋势变化;垂直剖面上,土层越深,土壤温度的日振幅越小;土壤日最高和最低温度出现的时间越晚。土壤温度的日振幅,春季最大,夏秋次之,冬季最小;土壤日最高和最低温度出现的时间春、夏季较早,秋季次之,冬季较晚。典型晴天的土壤温度的日变化曲线较典型阴天的平滑且土壤温度的日振幅较大。就季节变化而言,农田与休闲地土壤温度的季节变化趋势一致,但是农田 0—70 cm 土层的月平均最高温度出现的时间较休闲地有所滞后;农田 0—110 cm 间各土层的月平均最高温度低于休闲地 0.6~1.5℃,月平均最低温度低于休闲地 0.2~1.1℃。7—8 月农田土壤日平均温度显著低于休闲地,而降雨会明显降低农田与休闲地的土壤温度差异。

**关键词:**土壤温度; 季节变化; 日变化; 黄土塬区; 农田

中图分类号: S152.8

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)05-0124-05

## Study on Characteristics of Soil Temperature Changes in Arable Land on the Loess Tableland

HE Hui-hong<sup>1</sup>, LIU Wen-zhao<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:** The variation characteristics of soil temperature in 2011 were analyzed in an arable land, based on the soil temperature data measured at the soil moisture-heat monitoring field at the Changwu agro-ecological experimental station on the Loess Plateau of China. The results show that soil temperature at the depth of 0—20 cm displayed an obvious daily variation in arable land while it can be expressed as a sine curve at the depth of 0—10 cm in winter. The soil temperature amplitude decreased gradually and the phase variation of soil temperature displayed a gradual lag with the increase of soil depth. The soil temperature amplitude is the maximum in spring, the middle in summer and autumn, the minimum in winter. The curve for soil temperature of sunny day is smoother and the soil temperature amplitude is bigger than cloudy day. Additionally, a similar seasonal variation of soil temperature was observed in arable land and bare land, but the time that the highest monthly mean of soil temperature occurred between 0 and 70 cm in arable land was lagged compared with bare land. The highest monthly mean of soil temperature at the depth between 0 and 110 cm varied from 0.6℃ to 1.5℃ which was lower than that in the bare land, and the lowest monthly mean of soil temperature was from 0.2℃ to 1.1℃ lower than that in the bare land. The daily mean of soil temperature in arable land is obviously lower than that in bare land, and the difference value decreased significantly when a rainfall occurred.

**Key words:** soil temperature; seasonal change; diurnal change; loess tableland; arable land

土壤温度表征着土壤的热状况<sup>[1]</sup>,是组成土壤肥力的四大因子之一。土壤温度直接影响作物种子的

萌发、出苗、根系的生长,对土壤中有机质的分解、微生物的种类和数量、水盐运移以及水、气运动都有重

收稿日期: 2013-04-01

修回日期: 2013-05-18

资助项目: 国家自然科学基金项目(41171033)

作者简介: 何汇虹(1987—),女,甘肃陇南人,在读硕士研究生,主要从事流域管理方面研究。E-mail: hhh369761897@163.com

通信作者: 刘文兆(1960—),男,陕西乾县人,研究员,主要从事水文生态与流域管理研究。E-mail: wzliu@ms.iswc.ac.cn

要的影响<sup>[2-6]</sup>。目前不同耕作措施和覆盖措施(秸秆、薄膜等)<sup>[6-11]</sup>对土壤温度的调节作用受到了广泛的关注,大部分研究表明覆盖可以提高冷季的土壤温度而降低热季的土壤温度。但是对于作物覆盖下土壤温度的研究相对较少,作物覆盖对土壤温度的影响有多大?在作物生长阶段其土壤温度与休闲地土壤温度有何差异?还需要做深入的探讨。本文采用2011年黄土塬区土壤温度的长期连续监测资料,研究该区典型天气条件下农田土壤温度的日变化和季节变化特征,分析作物覆盖对土壤温度的影响以及7—8月农田土壤温度与休闲地土壤温度的异同,旨在为人工调控作物生长环境以及完善区域农业理论提供基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验在中国科学院长武黄土高原农业生态试验站深剖面土壤水热观测场进行,地理位置107°40′30″E,35°14′30″N。该区海拔1 220 m,气候属于暖温带半湿润大陆性季风气候,四季冷暖及干湿分明,农业生产用水完全依赖天然降水,是典型的旱作农业区,多年平均气温9.2℃,1月平均气温-5.1℃,7月平均气温22.4℃,多年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 平均年积温2 994℃。多年平均降水量584 mm,年内降水分布不均,主要集中7—9月这3个月,占全年降水量的50%以上,年日照时数2 218 h,无霜期171 d,地下水埋深50~80 m。土壤类型为黑垆土,母质为马兰黄土。

### 1.2 研究方法

采用多路温度测量系统测定休闲地(人工定期清理杂草)和高产农田(冬小麦—冬小麦—春玉米轮作)的土壤温度,该系统是由集成电路温度感应传感器、数据采集器及数据存储器等部分组成。传感器测温范围-50~+80℃,误差 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。传感器埋设于直径为1 m,深为10 m的竖井井壁外侧的土壤中,测定深度分别为0 cm,5 cm,10 cm,15 cm,20 cm,40 cm,70 cm,110 cm,250 cm,320 cm,400 cm,500 cm,650 cm,800 cm和1 000 cm,在休闲地深度110 cm,320 cm,500 cm和1 000 cm土层各布设有三个传感器,离井壁的水平距离分别为1.0 m,1.5 m和2.0 m,休闲地的其他深度土层以及农田的所有深度土层均布设一个传感器,离井壁的水平距离均为2.0 m。测定频率为15 min,数据采集器自动记录。2011年春玉米播种期为4月20日,冬小麦播种期为10月21日。本文所用数据为2011年1—12月仪器所测0—110

cm土层的土壤温度数据。气象数据采用的是长武农业生态站气象场的日常观测数据。采用Microsoft Excel 2003进行数据的整理和图表的绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤温度的日变化特征

由于土表白天接收太阳辐射增热和夜间辐射散热冷却引起的土壤温度昼夜变化,称为土壤温度的日变化。以2011年1月、4月、7月和10月内典型的晴天(无云,下垫面干燥)和阴天(云量大于八成,下垫面一般)的土壤温度数据为代表,分析冬、春、夏、秋四季农田土壤温度的日变化特征(图1)。由图1可知,各季节农田土壤温度的日变化趋势基本一致,都表现为:0—40 cm(冬季0—20 cm)土层具有呈正弦曲线趋势的日变化特征,其中0—20 cm(冬季0—10 cm)日变化明显;表层(0 cm)土壤温度的日变化幅度(日振幅)最大,土壤日最高和最低温度出现的时间最早。随着土层深度的增加,土壤温度的日振幅逐渐减小,土壤日最高和最低温度出现的时间逐渐滞后。但是,在不同季节农田相同土层土壤温度的日振幅、日最高和最低温度出现的时间均有所不同,土壤温度的日振幅春季最大,秋、夏季次之,冬季最小;土壤日最高和最低温度出现的时间春、夏季较早,秋季次之,冬季较晚。

由图1还可知,各季节中典型晴天和典型阴天土壤温度的日变化趋势相似,表层土壤的日最高温度都出现在白天午后,日最低温度都出现在日出前后。不同的是,典型晴天土壤温度的日变化具有一个明显的峰值,日变化曲线较为平滑,并且土壤温度的日振幅较大。而典型阴天土壤温度的日变化较晴天复杂,具有一定的波动性,且土壤温度的日振幅较小,这说明云量、大气透明度对土壤温度的日变化有着重要的影响。

土壤温度日较差指的是土壤日最高温度和最低温度的差值,又称为土壤温度的日振幅(日变幅),其大小受辐射平衡的日变化、土壤热性质以及大气和地面间热量交换的影响。土壤温度日较差的大小,对根系的生长、呼吸以及根系对水分和养分的吸收均有影响。表1是农田土壤温度日较差的月均值,从表中可以看出,农田表层土壤温度的日较差最大,随深度增加,日较差逐渐减小;不同季节土壤温度的日较差不同,春季(3—5月) $>$ 夏季(6—8月) $>$ 秋季(—11月) $>$ 冬季(12月—次年2月)。

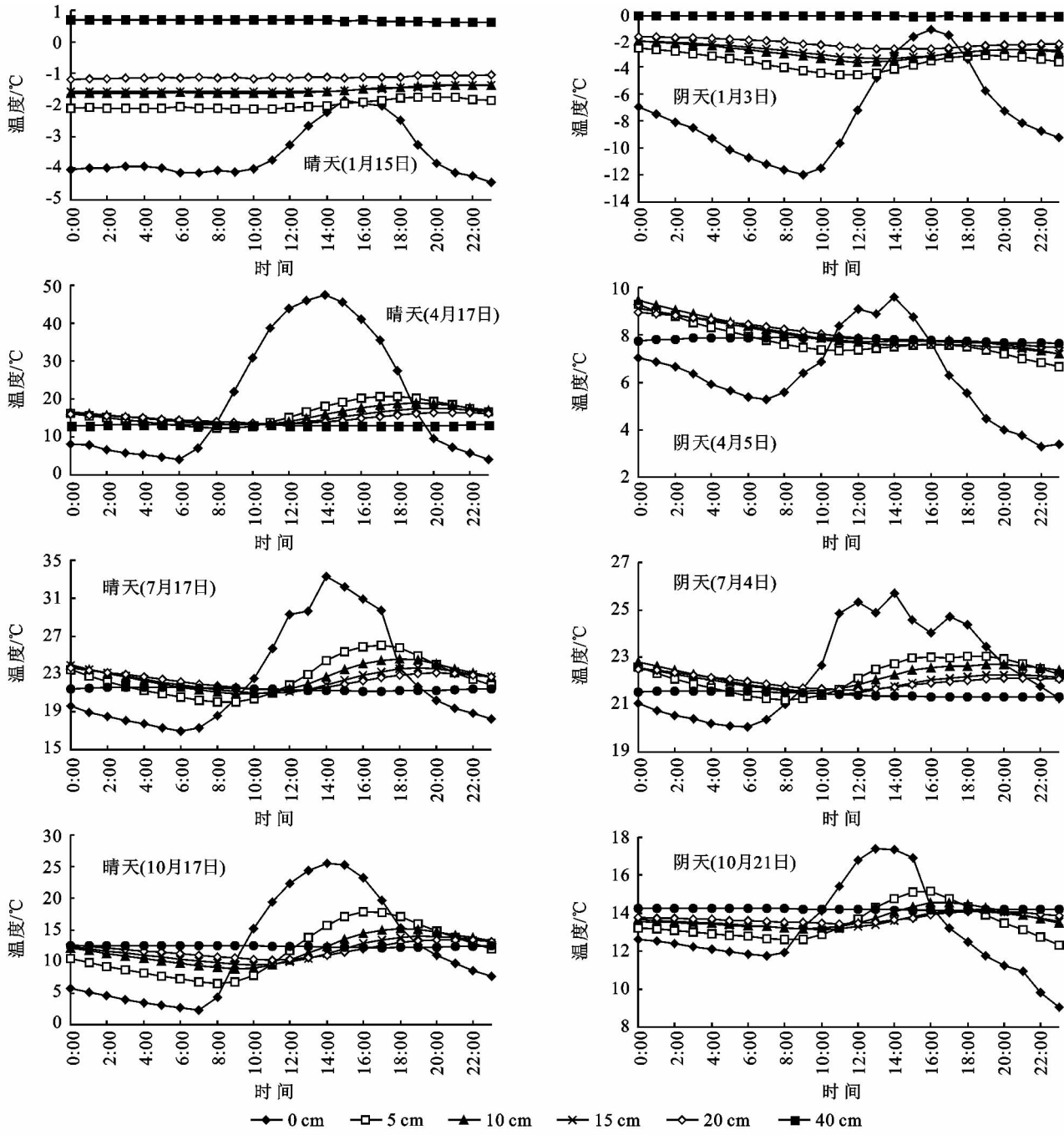


图 1 不同季节典型晴天和典型阴天农田土壤温度的日变化

表 1 农田土壤温度日较差的逐月变化

土层深度/cm	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
0	7.2	17.1	27.3	36.9	22.4	17.9	11.9	7.4	7.0	13.9	9.3	7.5
5	1.2	1.4	5.4	7.3	7.0	6.8	4.7	2.8	3.0	5.7	3.5	1.5
10	0.9	0.7	3.8	5.1	4.5	4.6	3.1	1.8	2.1	3.2	1.8	0.5
15	0.7	0.4	2.9	3.8	3.6	3.6	2.5	1.4	1.7	2.4	1.3	0.4
20	0.5	0.2	2.1	2.7	2.7	2.7	1.8	1.1	1.3	1.7	1.0	0.3
40	0.1	0.1	0.4	0.5	0.6	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.2

2.2 土壤温度的季节变化

图 2 为农田与休闲地 0—110 cm 间不同土层的土壤温度的月均值。由图 2 可知,农田与休闲地土壤温度的季节变化趋势一致,均表现出单峰曲线的变化趋势;表层土壤温度的年较差最大,月平均最高和最低温

度出现的时间最早。随土层深度的增加,土壤温度的年较差逐渐减小,月平均最高和最低温度出现的时间逐渐滞后;相同土层月平均最低温度出现的时间相同。但是,土壤月平均最高温度出现的时间不同,依次为:农田 0—15 cm 在 6 月,20—70 cm 在 7 月,110 cm 在 8

月;休闲地 0 cm 在 6 月,5—40 cm 在 7 月,70—110 cm 在 8 月。可以得出,农田 5 cm,10 cm,15 cm 和 70 cm 土层的月平均最高温度较休闲地均滞后了 1 个月;农田与休闲地 70 cm 及以下土层的月平均最高温度出现的时间相同,表明春玉米覆盖在 0—70 cm 土层内对土壤月平均最高温度出现的时间有影响。

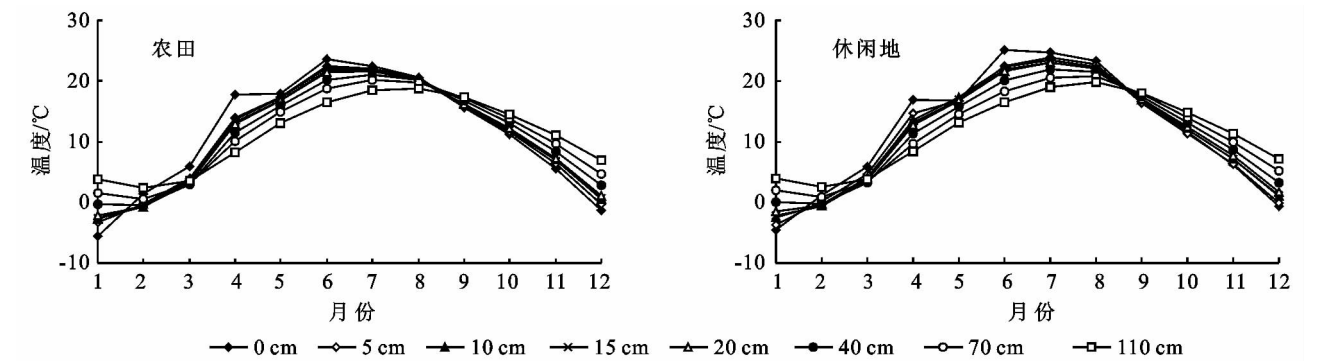


图 2 2011 年农田与休闲地不同土层土壤温度的季节变化

2.3 7—8 月农田与休闲地土壤温度的差异

作物覆盖会影响地表对太阳辐射的接收以及对大气的散热,从而影响土壤温度。然而,由于在作物不同的生长阶段,作物对地面的覆盖程度不同,因此其对土壤温度影响大小也不同。2011 年春玉米播种时间为 4 月 20 日,10 月 15 日春玉米收获后播种冬小

麦。对 4—12 月农田和休闲地 0—40 cm 间同一深度土层的土壤日平均温度进行  $T$  检验,得出 7 月和 8 月农田与休闲地各土层的土壤温度在 0.05 水平上存在显著差异,而其他月份差异均不显著(表 2)。因此,以下将对 7—8 月这两个月农田和休闲的土壤温度差异进行分析。

表 2 农田和休闲地的土壤温度差异性( $T$ -检验)

土层深度/cm	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
0	0.460	0.216	0.098	0.001	0.001	0.247	0.483	0.334	0.106
5	0.390	0.654	0.253	0.001	0.000	0.471	0.634	0.982	0.745
10	0.927	0.891	0.665	0.000	0.000	0.288	0.932	0.656	0.268
15	0.947	0.880	0.662	0.000	0.000	0.250	0.958	0.555	0.197
20	0.850	0.926	0.788	0.000	0.000	0.159	0.651	0.332	0.760
40	0.831	0.704	0.961	0.000	0.000	0.237	0.818	0.526	0.296

注:表中数据为同一土层深度农田与休闲地日平均温度  $T$  检验的  $P$  值。

农田与休闲地不同深度土层的土壤温度差值(休闲地的土壤日平均温度减去农田的土壤日平均温度)如图 3 所示,以下简称为差值。

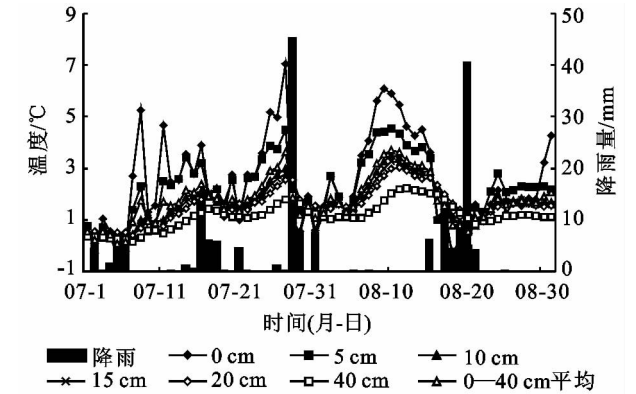


图 3 2011 年 7—8 月农田与休闲地不同土层土壤温度的差值  
由图 3 可知,7—8 月差值基本都在 0℃ 以上,说

明休闲地的土壤日平均温度大于农田的日平均温度,这主要是因为 7—8 月正值春玉米生长旺期,其生长处于抽雄—灌浆—乳熟期,此时春玉米冠层覆盖度最大,对太阳辐射的阻挡力最强,致使农田地表获得的热量较少,因而土壤温度较低;在垂直剖面上,表层(0 cm)的差值最大,随深度的增加,差值逐渐减小;7 月 27 日差值达到最大值,0,5,10,15,20,40 cm 土层的差值依次为 7.0,4.5,3.0,2.8,2.5,1.8℃;7—8 月各土层的平均差值依次为 2.5,2.1,1.7,1.6,1.6,1.2℃;降雨会明显降低农田与休闲地土壤温度的差值,这主要是因为雨天有云层的阻挡,农田和休闲地地面净辐射的差异减小。另外,雨天土壤湿度较大,土壤蒸发和乱流交换作用强,使得休闲地土壤因蒸发和乱流失去的热量较多,而农田因为有作物的风障作用,由蒸发和乱流散热引起的热量损耗相对较少。因

此,农田和休闲地土壤获得的实际能量差异减小,而土壤湿度的增大又会增大土壤的热容量,使土壤温度变化较缓和,所以两者土壤温度的差值减小。由图3可以看出,7月27日农田与休闲地土壤日平均温度的差值最大,故对这日整点的土壤温度进行对比分析

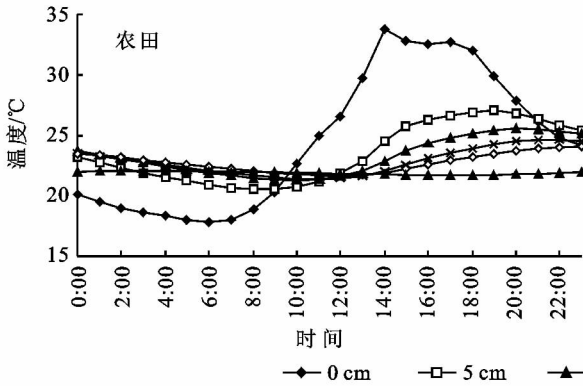


图4 7月27日农田和休闲地土壤温度的日变化

### 3 结论

本文选用2011年农田与休闲地的土壤温度观测数据,分析了长武塬区农田在不同季节典型天气条件下的日变化特征、季节变化特征以及农作物主要生育期内农田与休闲地土壤温度的差异,得出以下结论:

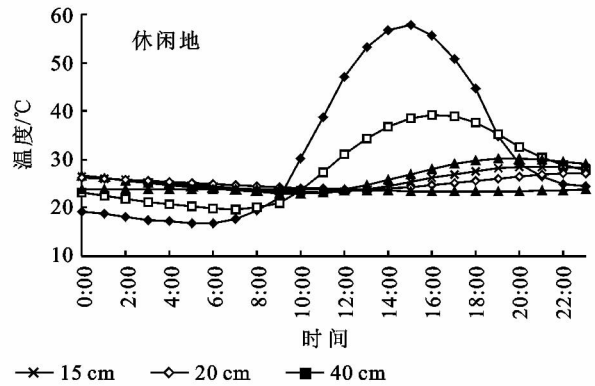
各季节农田土壤温度的日变化趋势基本一致,都表现为:0—20 cm(冬季0—10 cm)呈明显的正弦曲线趋势变化;垂直剖面上,土层越深,土壤温度的日振幅越小;土壤日最高和最低温度出现的时间越晚。不同季节,农地相同土层土壤温度的日振幅、日最高和最低温度出现的时间不同,土壤温度的日振幅春季最大,冬季最小;土壤日最高和最低温度出现的时间春、夏季较早,秋季次之,冬季较晚。典型晴天土壤温度的日变化具有一个明显的峰值,日变化曲线较为平滑,且土壤温度的日振幅较大。而典型阴天土壤温度的日变化较晴天的复杂,具有一定的波动性,且土壤温度的日振幅较小。农田与休闲地土壤温度的季节变化趋势一致,但是农田的土壤月平均最高和最低温度均小于休闲地,0—70 cm土层内农田与休闲地的月平均最高温度出现的时间不同,存在滞后现象。7—8月农田土壤日平均温度显著低于休闲地。在垂直剖面上,两者表层(0 cm)的差值最大,随深度的增加,差值逐渐减小。0, 5, 10, 15, 20, 40 cm土层两者的差值最大为7.0, 4.5, 3.0, 2.8, 2.5, 1.8℃;7—8月的平均差值依次为2.5, 2.1, 1.7, 1.6, 1.6, 1.2℃。降雨会明显降低农田与休闲地土壤温度的差异。

#### 参考文献:

[1] 姚贤良,程云生,熊毅,等.土壤物理学[M].北京:科学

(图4)。

由图4可以看出,农田与休闲地各土层土壤温度的差值在夜晚较小,两者表层土壤日最低温度的差值仅为1℃左右,而日出后两者的差值迅速增大,在15:00左右达到最大值,表层的差值可达25℃。



出版社,1986.

- [2] Cookson W R, Cornforth I S, Rowarth J S. Winter soil temperature (2—15℃) effects on nitrogen transformations in clover green manure amended or unamended soils: a laboratory and field study[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2002, 34(10): 1401-1415.
- [3] Nabi G, Mullins C E. Soil temperature dependent growth of cotton seedlings before emergence[J]. Pedosphere, 2008, 18(1): 54-59.
- [4] Hood R C. The effect of soil temperature and moisture on organic matter decomposition and plant growth[J]. Isotopes in Environmental and Health Studies, 2001, 37(1): 25-41.
- [5] Shin H T, Park S P, S G, Yi M H, et al. Temporal change of soil animals of the stockpiled forest topsoil in relation to soil temperature and soil moisture[J]. Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 2011, 56(1): 9-13.
- [6] 张保军,韩海,朱芬萌,等.地膜小麦土壤温度动态变化研究[J].水土保持研究, 2000, 7(1): 59-62.
- [7] 陈继康,张宇,陈军胜,等.不同耕作方式麦田土壤温度及其对气温的响应特征:土壤温度特征及热特性[J].中国农业科学, 2009, 42(8): 2747-2753.
- [8] 陈素英,张喜英,裴冬,等.玉米秸秆覆盖对麦田土壤温度和土壤蒸发的影响[J].农业工程学报, 2005, 21(10): 171-173.
- [9] 李毅,王文焰,门旗,等.宽地膜覆盖条件下土壤温度场特征[J].农业工程学报, 2001, 17(3): 32-36.
- [10] 黄高宝,李玲玲,张仁陟,等.免耕秸秆覆盖对旱作麦田土壤温度的影响[J].干旱地区农业研究, 2006, 24(5): 1-4, 19.
- [11] 杨祁峰,岳云,熊春蓉,等.不同覆膜方式对陇东旱塬区玉米田土壤温度的影响[J].干旱地区农业研究, 2008, 26(6): 29-33.