

北方高寒区不同覆盖条件下土壤温度差异性分析*

付强 马梓翥 李天霄 蒋睿奇

(东北农业大学水利与建筑学院, 哈尔滨 150030)

摘要:以北方寒区典型城市哈尔滨市的大田为研究区域,通过冬季大田试验(试验周期2013-11-01—2014-04-30),设置裸地、5、10和15 cm厚度秸秆覆盖4个处理,分别测定不同处理条件下3、5、8、10、15、20、40、60、100、140 cm等深度土壤温度以及气温和太阳总辐射,采用统计学理论对其进行对比分析。研究结果表明:秸秆覆盖对于热量具有双向阻碍作用,只是在不同的外界条件下双向阻碍作用的主导地位在不断调整;某深度下土壤温度变化是秸秆覆盖与土壤导热性相互作用的结果;裸地温度差异性最大,其次为5 cm秸秆覆盖和15 cm秸秆覆盖,最后为10 cm秸秆覆盖,秸秆覆盖对于土壤温度差异系数的影响并非随着秸秆厚度的增加单调增加。

关键词:北方高寒区 秸秆覆盖 土壤温度 差异系数

中图分类号: S316; S152.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)12-0152-08

引言

土壤温度作为地表主要物理参量之一,是土壤作用于植物的重要指标。在季节性冻土消融期土壤温度对土壤湿度、土壤的形成、地表植被的生长以及地表水热能量的再分配具有重要的影响^[1],尤其是北方高寒地区(如黑龙江省)。随着“东农冬麦1号”的育成、示范和推广,使得冬小麦在黑龙江省种植已成为可能,2003—2006年在黑龙江省东北部的虎林、饶河地区进行区域试验和生产试验,于2007年1月通过黑龙江省农作物品种审定委员会审定,正式定名为“东农冬麦1号”。然而,在“东农冬麦1号”的推广种植过程中,还存在“冷拔”导致出苗率低、缺乏合理灌溉技术等问题,导致北方高寒地区冬季作物种植过程和推广过程存在一定难度,这些问题的解决关键在于掌握冬季土壤温度的变化规律^[2-6]。

目前,相关学者对土壤温度的研究取得了一系列的研究成果,但多是针对冬小麦、夏玉米以及其他经济作物,围绕其在不同覆盖^[7-11]、不同土壤管理方式和耕作措施^[12-18]、不同节水灌溉条件^[19-22]等对土壤温度的影响展开研究,比较有代表性的研究如齐鹏春等指出秸秆覆盖可平抑冬小麦地温的变化幅度^[11],江才伦等发现中耕柑橘的土壤温度明显高于其他几种土壤管理方式^[15],刘洪波等的研究表明

环管节水措施对香梨的土壤温度增幅最大,比普通灌溉平均高出2.3℃^[22],然而上述研究多是针对冬季气温相对较高的地区(-10℃以上),而对于北方高寒地区(最低气温可达-30℃以下)土壤温度的研究相对较少。因此,本文以北方高寒地区代表性城市——哈尔滨市的大田为研究对象,通过冬季大田试验,设置不同的秸秆覆盖厚度,测定不同覆盖条件下的土壤温度,进而分析不同覆盖厚度对冬季土壤温度的影响机理和差异性,以期为解决北方高寒地区冬小麦推广过程中存在的相关问题提供理论和技术支撑。

1 试验方案

1.1 试验区简介

试验于2013年11月—2014年4月在哈尔滨市东北农业大学节水灌溉试验场进行(试验区地理位置如图1所示)。试验区位于北纬45°44′24″,东经126°43′07″,气候属于中温带大陆性季风气候,冬长夏短,冬季1月气温最低,平均气温约-19℃,最低气温-38.1℃,极端最低气温为-42℃;夏季7月气温最高,平均气温约23℃,最高气温35℃,极端最高气温可达36.1℃,全年平均气温2~4℃,全年积温2300~2800℃,全年平均降水量569.1 mm,夏季降水量占全年降水量的60%,无霜期115~145 d。本试验区犁底层大约为40 cm,为黑土,40 cm~60 cm

收稿日期:2014-07-22 修回日期:2014-08-27

*国家自然科学基金资助项目(51279031)、黑龙江省自然科学基金资助项目(E201241)、教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目和黑龙江省杰出青年基金资助项目(JC201402)

作者简介:付强,教授,博士生导师,主要从事农业水土资源系统分析和节水灌溉等研究,E-mail: fuqiang0629@126.com

为粘质黄土,60 cm 以下为粘质黑土。

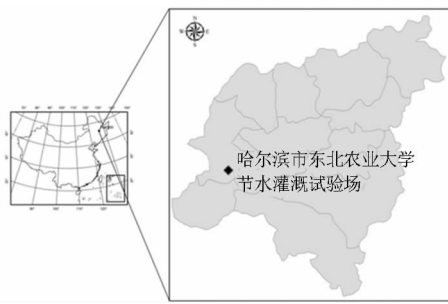


图 1 试验区地理位置图

Fig. 1 Geographic location of experimental zone

1.2 试验方案

试验设置了 5 cm 秸秆覆盖 (6 000 kg/hm²)、10 cm 秸秆覆盖 (12 000 kg/hm²)、15 cm 秸秆覆盖 (18 000 kg/hm²) 3 种处理,各处理秸秆覆盖密度均匀,秸秆采用 2013 年收获后整根的玉米秸秆并保留秸秆上残余的叶片,纵横交错摆放。并设置裸地作为对照,所有地块面积均为 10 m × 10 m,试验方案设置如图 2 和图 3 所示。试验期内秸秆覆盖处理地块降雪保持自然状态,裸地处理地块降雪当天清理完毕。土壤温度采用 JL-04 型 6 路地表温度记录仪自动采集。考虑到浅层土壤与大气接触和能量交换比较密切,受太阳辐射影响较大,土壤温度变化比较剧烈;深层土壤温度受大气和表层土壤影响相对较弱,其温度变化幅度相对较小,故表层测点设置相对密集,深层测点设置相对稀疏。其浅层土壤温度采集深度分别为 3、5、8、10、15、20 cm,深层土壤温度采集深度分别为 40、60、100、140 cm。另外,相关气

象数据采用试验田安装的自动气象站观测。自 2013 年 11 月 1 日起对所有观测点进行观测,观测间隔为 1 h,直至 2014 年 4 月 30 日观测结束。另外,2013 年 10 月 30 日采用土钻在各地块内 20、40、60、100、140 cm 深度各取 3 个土样,用于观测土壤各项参数(表 1),所有数值均为 3 个样本的平均值。

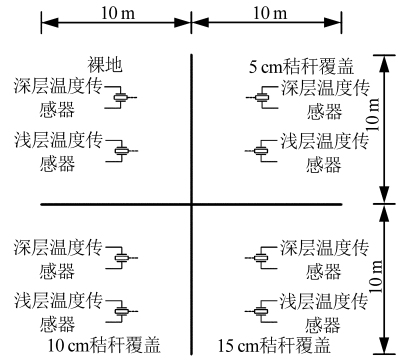


图 2 试验方案设置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of experimental setup



图 3 试验现场布置图

Fig. 3 Test site layout

表 1 试验区内不同深度土壤参数

Tab. 1 Soil parameters of different depth in test area

土壤深度/cm	裸地		5 cm 秸秆覆盖		10 cm 秸秆覆盖		15 cm 秸秆覆盖	
	干容重 /(g·m ⁻³)	含水率 /(cm ³ ·cm ⁻³)	干容重 /(g·m ⁻³)	含水率 /(cm ³ ·cm ⁻³)	干容重 /(g·m ⁻³)	含水率 /(cm ³ ·cm ⁻³)	干容重 /(g·m ⁻³)	含水率 /(cm ³ ·cm ⁻³)
20	1.63	21.53	1.42	19.80	1.49	18.25	1.55	20.83
40	1.64	16.47	1.60	14.63	1.53	14.70	1.57	15.07
60	1.69	14.03	1.53	17.50	1.54	16.20	1.61	16.60
100	1.72	19.07	1.68	21.07	1.61	20.30	1.55	22.53
140	1.71	23.73	1.76	20.17	1.76	19.23	1.72	21.43

1.3 研究方法

为了准确分析和比较不同厚度秸秆覆盖和裸地条件下土壤温度的差异性,界定土壤温度差异系数为同一处理不同深度试验期内日平均土壤温度序列的方差的平均数。从数学角度考虑,方差反映了数值间的偏离程度和波动程度,如果日平均气温所组成序列的方差的平均数越大,则说明该处理下土壤温度的波动性就越大,即差异性越大,否则较小。根据上述定义,土壤温度差异系数的表达式为

$$\lambda_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (\text{Var}(T_{ijk}))_j \quad (1)$$

式中 λ_i ——第 i 种处理的土壤温度差异系数
 T_{ijk} ——第 i 种处理 j 土壤深度第 k 日的日平均土壤温度
 i ——取裸地、5、10 和 15 cm 秸秆覆盖
 j ——取 3、5、8、10、15、20、40、60、100、140 cm 土壤深度
 k ——取 2013-11-01—2014-04-30 共 181 d

2 试验结果与分析

土壤温度的高低取决于3个方面:太阳辐射、生物热量与地球内热。太阳辐射是其热量的主要来源;生物热量对于土壤温度作用十分有限,在东北高寒地区冬季生物新陈代谢缓慢,对土壤温度的影响可以忽略不计;地球内热由于地壳导热能力差,从地层的20 m深处以下,土层每增加20~40 m,温度仅增加1℃。所以与太阳辐射相比,地球内热和生物热量对土壤温度的影响均较小。本文只分析太阳辐射对土壤温度变化的影响。由于秸秆上覆盖积雪不易清理,故3种覆盖处理地块上的自然雪被不做处理,试验期内不同处理地块雪被厚度变化如图4所示。由图4可知,2013-11-20—2014-02-25前后各处理地块均有一层稳定的积雪覆盖,但积雪厚度并不相同。5 cm 秸秆覆盖处理地块在该时段内雪被平均厚度为33.83 cm,10 cm 秸秆覆盖处理地块雪被平均厚度为27.93 cm,15 cm 秸秆处理地块雪被平均厚度为22.15 cm,3个处理地块在该阶段秸秆厚度与雪被厚度的和分别为38.83、37.93、37.15 cm。由此可推断,无论雪被下有多厚的秸秆,雪被上表面距离土壤表面的高度总是大体一致的,可认为不同厚度覆盖对于雪被厚度的影响也是不同的,雪被厚度也是秸秆覆盖对环境影响的特征之一。根据试验期内实际观察,风力对秸秆覆盖的影响并不显著。

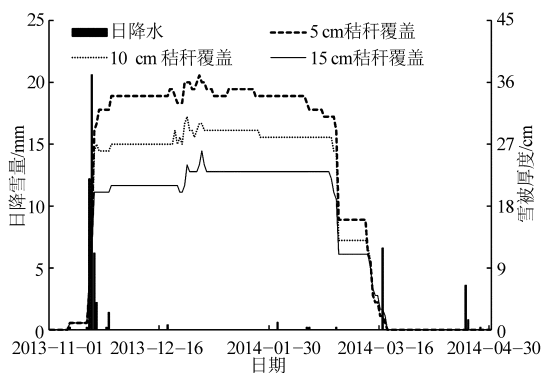


图4 试验期内降雪量与雪被厚度变化

Fig. 4 Snow amount and thickness variation in test period

考虑到气温与太阳辐射对土壤温度的影响,采用所获取的试验数据,绘制整个试验期内日平均气温和日总辐射随时间的变化,如图5所示。从图5中可以看出,日平均气温与日总辐射累计值变化趋势相同,均呈现出先降后升的趋势。日平均气温最低值出现在2014-01-13,为 -23.11°C ,日总辐射的最低值出现在2013-12-20,为 $0.23 \text{ MJ}/\text{m}^2$ 。可见,日平均气温的变化滞后于日总辐射的变化,大约滞后20 d左右。

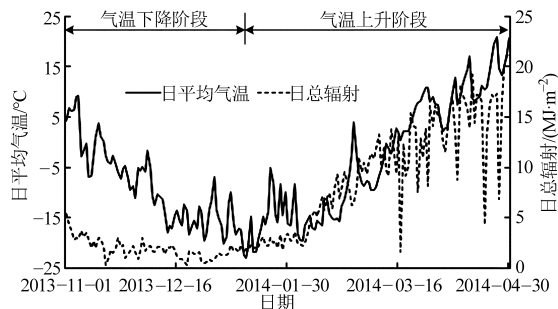


图5 试验期内日平均气温和日总辐射变化

Fig. 5 Daily average temperature and daily total radiation variation in test period

2.1 不同秸秆覆盖下浅层土壤温度差异性分析

表层3、5、8、10、15、20 cm 深度不同厚度秸秆覆盖条件下日均土壤温度随时间的变化如图6所示。同时,按照1.3节所述,计算不同厚度秸秆覆盖下浅层土壤温度的差异系数,结果如表2所示。

由图6和表2可知,对于表层土壤,浅层各深度下裸地土壤温度变化的剧烈程度均大于有覆盖的地块。裸地土壤温度最大温差为 36.26°C ,出现在3 cm 土壤深度处;而有覆盖土壤温度最大温差仅为 16.28°C ,出现在5 cm 秸秆覆盖的3 cm 土壤深度处;裸地土壤温度最小温差为 23.30°C ,出现在20 cm 土壤深度处,而有秸秆覆盖土壤温度最小温差仅为 7.46°C ,出现在10 cm 秸秆覆盖的20 cm 土壤深度处。裸地土壤温度最大温差比有覆盖条件下高出 19.98°C ,最小温差也比有覆盖条件下高出 15.83°C 。可见,雪被秸秆覆盖可以有效平抑土壤温度的波动幅度。根据热力学第二定律:热量可以自发地从温度高的物体传递到温度低的物体,但不可能自发地从温度低的物体传递到温度高的物体。在试验前期,气温下降,各地块土壤温度也迅速下降。说明该阶段热量运动主要以土壤中热量散失至空气中为主,但有覆盖处理下土壤温度却要高于裸地土壤温度,说明秸秆覆盖对于土壤中热量的散失具有阻碍作用。试验后期,气温上升过程中,各地块土壤温度上升,说明该阶段热量运动主要以外界热量进入土壤为主,但有覆盖处理土壤温度低于裸地土壤温度,说明覆盖对于外界热量进入土壤有阻碍作用,由此可见秸秆覆盖对于土壤中的热量具有双向阻碍作用。

从不同覆盖厚度来看,5 cm 秸秆覆盖土壤温度变化的剧烈程度均大于其他覆盖处理的地块。5 cm 秸秆覆盖下土壤温度差除5 cm 深度小于15 cm 秸秆覆盖下对应深度外,其余各深度均大于10、15 cm 秸秆覆盖处理相对应各深度的土壤温度差。进一步

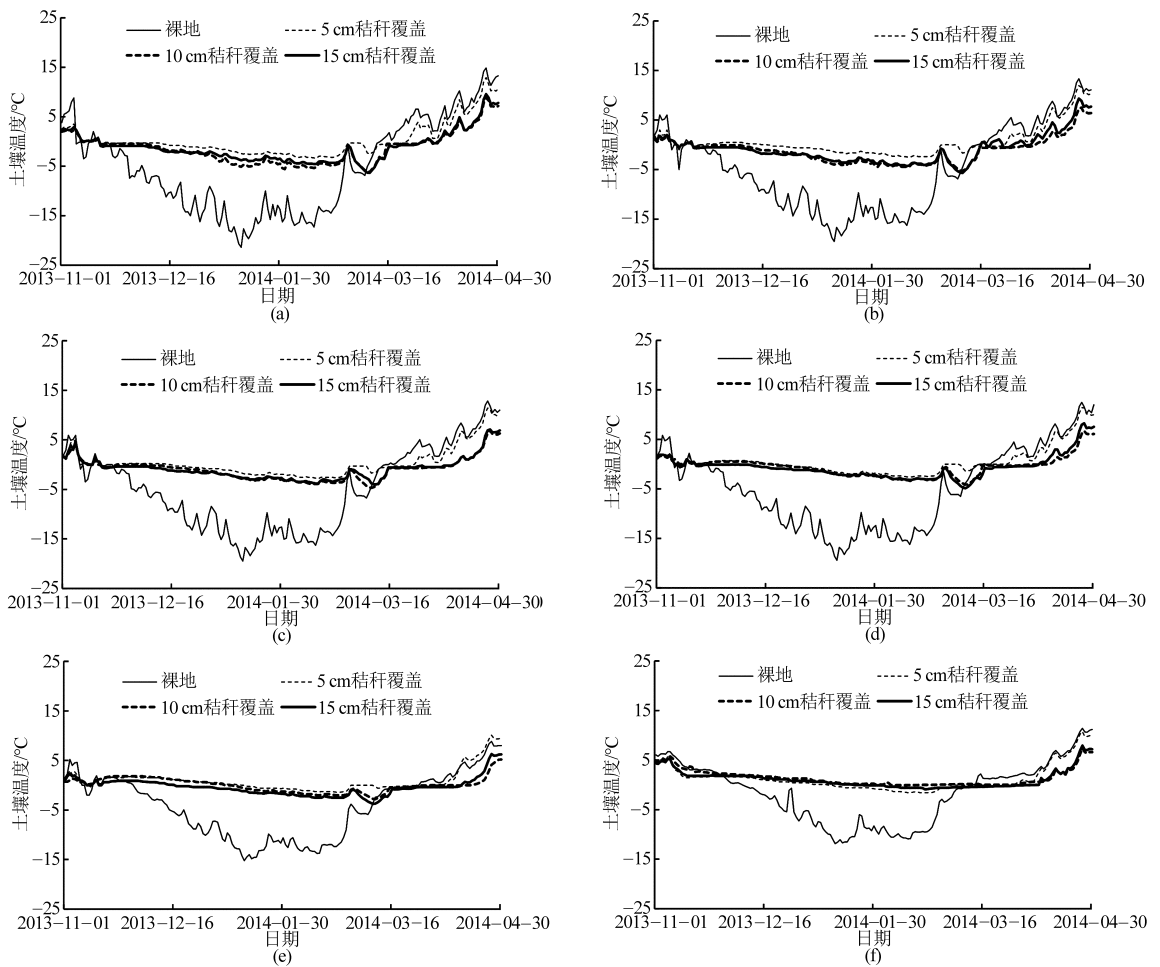


图 6 试验期内表层土壤不同秸秆覆盖土壤温度差异分析

Fig. 6 Surface soil temperature under different straw mulching conditions in test period

(a) 3 cm (b) 5 cm (c) 8 cm (d) 10 cm (e) 15 cm (f) 20 cm

表 2 不同处理条件下表层土壤温度差异系数

Tab. 2 Variation coefficient of surface soil temperature under different straw mulching conditions

处理	土壤温度	土壤深度/cm						λ
		3	5	8	10	15	20	
裸地	最高温度/°C	14.88	13.34	12.84	12.50	8.84	11.41	61.49
	最低温度/°C	-21.38	-19.53	-19.49	-19.42	-15.23	-11.89	
	温度方差	86.00	70.43	68.69	66.83	41.28	38.38	
5 cm 覆盖	最高温度/°C	12.90	11.94	11.42	11.42	10.11	10.74	8.45
	最低温度/°C	-3.38	-2.57	-2.90	-2.60	-1.43	-1.60	
	温度方差	11.75	9.05	8.99	8.48	5.43	7.02	
10 cm 覆盖	最高温度/°C	8.85	7.50	6.87	6.69	5.20	7.38	5.16
	最低温度/°C	-6.14	-5.27	-4.71	-4.15	-2.80	-0.08	
	温度方差	9.91	6.63	5.21	4.09	2.22	2.88	
15 cm 覆盖	最高温度/°C	9.58	9.32	7.10	8.25	6.29	7.92	5.96
	最低温度/°C	-6.33	-5.68	-4.00	-4.87	-3.79	-0.90	
	温度方差	9.35	8.35	5.06	5.51	3.24	4.26	

说明覆盖厚度的变化可以有效改变浅层不同深度土壤温度的波动幅度, 秸秆覆盖厚度越厚, 不同深度土壤温度波动越小, 反之越大。

在气温下降过程中各个深度的土壤温度基本上按照 5、15、10 cm 秸秆覆盖、裸地由大到小排列,

由于该阶段大气温度不断下降, 土壤向空气散失的热量远大于来自于太阳辐射吸收的热量。由此进一步推断, 秸秆覆盖对于热量散失具有阻碍作用, 在气温持续降低的过程中有效地阻挡了土壤中热量的散失, 使得有秸秆覆盖处理的土壤温度

均明显大于裸地。同时,在气温下降过程中表层各深度 5 cm 秸秆覆盖处理下土壤温度均大于 10 cm 和 15 cm 秸秆覆盖,说明秸秆覆盖不仅阻挡了土壤热量的散失,也阻挡了太阳辐射能进入土壤,且秸秆覆盖厚度越大,对太阳辐射能阻挡的程度也越大。15 cm 秸秆覆盖下土壤温度略大于 10 cm 秸秆覆盖,但小于 5 cm 秸秆覆盖,即秸秆覆盖的阻碍效应并非按秸秆覆盖厚度的增加而单调增加,可见,覆盖对热量的双向阻碍强度并不相同。因为只有双向阻碍强度相同时,土壤温度才能按照秸秆厚度单调增加。这主要是由于 15 cm 秸秆覆盖与 10 cm 秸秆覆盖相比,不仅对于太阳辐射的阻碍效应强,其阻挡土壤热量散失的效应更强,进而使 15 cm 秸秆覆盖下土壤内部热量略大于 10 cm 秸秆覆盖所致。

试验后期气温处于稳步上升阶段,日总辐射总体呈上升趋势,大气中的热量值逐渐高于土壤中热量值,该阶段热量传递的主要方向逐渐由土壤散失转变为吸收太阳辐射能。该阶段各个深度土壤温度由大到小依次为裸地、5、15、10 cm 秸秆覆盖。由此可推断出秸秆覆盖在该阶段以阻挡太阳辐射进入土

壤为主。

各处理下裸地温度差异系数最大,其值为 61.49。10 cm 秸秆覆盖处理下土壤温度差异系数最小,为 5.16。裸地与不同厚度秸秆覆盖下土壤温度差异系数相差较大,而 3 种秸秆覆盖下的土壤温度差异系数相差相对较小。可见秸秆覆盖处理对于平抑土壤温度波动的效果十分明显,但秸秆覆盖厚度对土壤温度波动的影响效果并不显著。在 3 种厚度秸秆覆盖处理中, λ_5 最大、其次为 λ_{15} 、 λ_{10} 最小,其中: $\lambda_5 - \lambda_{10} = 3.29$ 、 $\lambda_{10} - \lambda_{15} = -0.8$ 、 $\lambda_5 - \lambda_{15} = 2.49$ 。由此可见:①秸秆覆盖厚度虽然以 5 cm 为单位梯度增加,但其对于温度差异系数的影响并未随秸秆覆盖厚度的梯度增加而呈梯度增加。②秸秆覆盖厚度对于土壤温度变化率的影响并非呈单调递增或递减趋势,说明秸秆覆盖厚度对热量双向阻碍的作用不同,与前述分析一致。

2.2 不同秸秆覆盖下深层土壤温度差异性分析

深层 40、60、100、140 cm 深度不同厚度秸秆覆盖条件下日均土壤温度随时间的变化如图 7 所示。不同厚度秸秆覆盖下深层土壤温度的差异系数如表 3 所示。

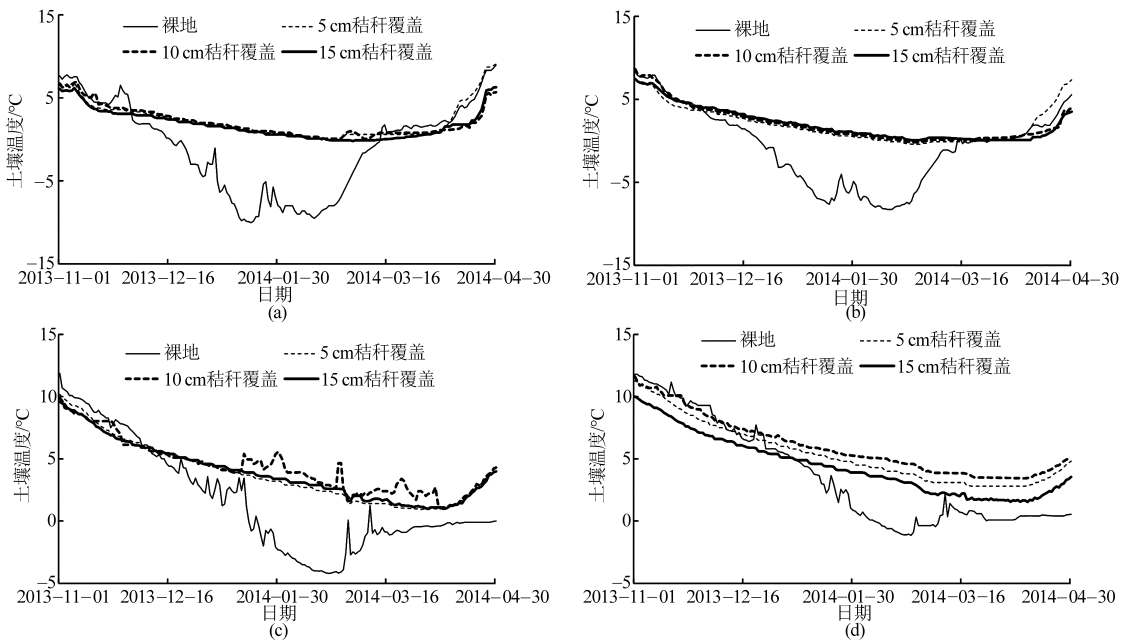


图 7 试验期内深层土壤不同秸秆覆盖土壤温度差异

Fig. 7 Deep soil temperature under different straw mulching conditions in test period

(a) 40 cm (b) 60 cm (c) 100 cm (d) 140 cm

由图 7 和表 3 可知,深层土壤与浅层土壤相似,各深度下,裸地温度变化的剧烈程度均大于有覆盖的地块。裸地土壤温度最大温差为 18.99℃,出现在 40 cm 土壤深度处;而有覆盖土壤温度最大温差仅为 9.25℃,出现在 5 cm 秸秆覆盖的 100 cm 土壤深度处;裸地土壤温度最小温差为 12.95℃,出现在

140 cm 土壤深度处,而有覆盖土壤温度最小温差仅为 6.48℃,出现在 15 cm 秸秆覆盖的 40 cm 土壤深度处。裸地土壤温度最大温差比有秸秆覆盖条件下高 9.73℃,最小温差比有秸秆覆盖条件下高 6.47℃。但与表层土壤相比,其最大、最小温差均大幅度减小。可见,秸秆覆盖也可平抑深层土壤温度

的波动幅度,但影响效果远低于表层土壤。

表 3 不同处理条件下深层土壤温度差异系数

Tab.3 Variation coefficient of deep soil temperature under different straw mulching conditions

处理	土壤温度	土壤深度/cm				λ
		40	60	100	140	
裸地	最高温度/°C	8.96	8.28	11.88	11.80	21.59
	最低温度/°C	-10.03	-8.29	-4.20	-1.15	
	温度方差	30.54	21.30	18.04	16.49	
5 cm 覆盖	最高温度/°C	9.08	7.43	10.18	11.28	5.27
	最低温度/°C	-0.10	-0.40	0.93	2.80	
	温度方差	4.82	4.63	5.98	5.64	
10 cm 覆盖	最高温度/°C	6.94	8.64	9.90	11.63	4.31
	最低温度/°C	0.00	-0.16	1.03	3.44	
	温度方差	3.14	4.52	4.41	5.16	
15 cm 覆盖	最高温度/°C	6.28	7.45	9.60	10.00	4.70
	最低温度/°C	-0.20	0.07	1.00	1.54	
	温度方差	4.24	3.91	5.15	5.50	

与表层土壤不同,从不同秸秆覆盖厚度来看,5 cm 秸秆覆盖温度变化的剧烈程度稍大于其他覆盖处理的地块。同深度不同覆盖厚度之间的温度变化率随着深度的增加不断减小,在 40 cm 深处最大温差出现在 5 cm 秸秆覆盖处理,最小温差出现在 15 cm 秸秆覆盖处理,最大、最小温差相差 2.7°C。60、100、140 cm 深度最大、最小温差的差值逐渐减小,分别为 1.42、1.30、0.29°C。说明即使在 140 cm 深度,秸秆覆盖对于土壤温度依然有影响,但其影响效果随着土壤深度的增加逐渐减小。

40 cm 深度在气温下降阶段各处理土壤温度由大到小依次为 10、5、15 cm 秸秆覆盖、裸地,在气温上升阶段由大到小依次为 5 cm 秸秆覆盖、裸地、15、10 cm 秸秆覆盖;60 cm 深度在气温下降阶段各处理土壤温度由大到小依次为 15、10、5 cm 秸秆覆盖、裸地,在气温上升阶段由大到小依次为 5 cm 秸秆覆盖、裸地、10、15 cm 秸秆覆盖;100 cm 深度在气温下降阶段前半部分 5、10、15 cm 秸秆覆盖温度不断波动并无稳定排列,但 3 种厚度秸秆覆盖处理土壤温度均低于裸地土壤温度;气温下降阶段后半部分裸地温度迅速下降,不同秸秆覆盖处理土壤温度与裸地土壤温度变化趋于稳定,表现为 10 cm > 15 cm > 5 cm 秸秆覆盖 > 裸地,并保持这种排列趋势直至试验期结束;140 cm 深度在整个试验期内除裸地温度由最高温度迅速下降至最低温度外 3 种厚度秸秆覆盖处理温度排列稳定,总体趋势为 10 cm > 5 cm > 15 cm 秸秆覆盖 > 裸地。由此可见虽然秸秆覆盖

对于深层土壤温度仍有一定影响,但其影响效果较小。因此,随着深度的增加,土壤温度的变化主要取决于土壤的导热性能,而与秸秆覆盖的厚度关系较弱。

各处理下裸地深层土壤温度差异系数最大,为 21.59。10 cm 秸秆覆盖处理下深层土壤温度差异系数最小,为 4.31。与浅层土壤相比,裸地深层土壤温度差异系数要远远小于浅层,而 3 种厚度秸秆覆盖的土壤温度差异系数无论是深层,还是浅层,其数值大小相差不大。与浅层土壤相同,深层土壤 3 种厚度秸秆覆盖处理中, λ_5 最大、其次为 λ_{15} 、 λ_{10} 最小,秸秆覆盖厚度对于土壤温度差异系数的影响并未随秸秆覆盖厚度的梯度增加而呈梯度增加,秸秆覆盖厚度对于温度变化率的影响并非呈单调递增或递减趋势。

3 结论

(1) 秸秆覆盖是减缓土壤、大气热交换的一种介质,对于热量双向运动都有一定的阻碍作用,只是在不同的外界条件下,两向阻碍作用的主导地位在不断调整。由于这种作用使得秸秆覆盖处理土壤温度值总是滞后于裸地土壤温度值。

(2) 秸秆覆盖可以有效平抑土壤温度的波动幅度,其厚度的变化可以在不同程度上改变土壤温度,但对于表层土壤温度的影响效果较大,而对深层土壤温度的影响效果较小。由于热量达到深层观测点时,在土壤中传递所消耗的热量与时间比重逐渐增加,此时秸秆对于热量的损耗以及滞后作用都不再明显。可见,某深度下土壤温度变化是秸秆覆盖与土壤导热特性相互作用的结果。

(3) 界定了土壤温度差异系数的概念和计算公式,并采用其计算了不同处理下土壤温度的差异系数。结果表明,无论深层土壤,还是浅层土壤,裸地的土壤温度差异性均较大,且裸地浅层的土壤温度差异性要远远大于深层土壤;无论深层土壤,还是浅层土壤,3 种厚度秸秆覆盖下 5 cm 秸秆覆盖的土壤温度差异系数最大,其次为 15 cm 秸秆覆盖,10 cm 秸秆覆盖最小。

(4) 无论深层土壤,还是浅层土壤,秸秆覆盖厚度虽然以 5 cm 为单位梯度增加,但其对于土壤温度差异系数的影响并未随秸秆覆盖厚度的梯度增加而梯度增加;秸秆覆盖厚度对于土壤温度变化率的影响并非呈单调递增或递减趋势;浅层土壤温度差异系数均大于深层土壤。

参 考 文 献

- 1 胡铭, 刘志辉, 陈凯, 等. 雪盖影响下季节性冻土消融期的土壤温度特征分析[J]. 水土保持研究, 2013, 20(3): 39-43.
Hu Ming, Liu Zhihui, Chen Kai, et al. Characteristics of soil temperature analysis under the influence of snow cover in the ablation period of seasonal frozen soil[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2013, 20(3): 39-43. (in Chinese)
- 2 Wildung R E, Garland T R, Buschbom R L. The interdependent effects of soil temperature and water content on soil respiration rate and plant root decomposition in arid grassland soils[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1975, 7(6): 373-378.
- 3 Flerchinger G N, Pierson F B. Modeling plant canopy effects on variability of soil temperature and water[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1991, 56(3): 227-246.
- 4 李天霄, 付强, 孟凡香, 等. 北方寒区冬季土壤蒸发量主要影响因子评价[J]. 黑龙江水专学报, 2010, 37(1): 93-96.
Li Tianxiao, Fu Qiang, Meng Fanxiang, et al. Evaluation of main influence factors for soil evaporation in northern cold area[J]. Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering, 2010, 37(1): 93-96. (in Chinese)
- 5 Hughes M A, Dunn M A. The molecular biology of plant acclimation to low temperature[J]. Journal of Experimental Botany, 1996, 47(3): 291-305.
- 6 胡钰, 香宝, 刘玉萍, 等. 交替冻融对东北地区典型土壤氮磷浓度的影响[J]. 环境工程技术学报, 2012, 2(4): 333-338.
Hu Yu, Xiang Bao, Liu Yuping, et al. Freeze-thaw cycle effects on nitrogen and phosphorus content in typical soils of northeast China[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2012, 2(4): 333-338. (in Chinese)
- 7 Rossi E S, Mendes M C, Junior O P, et al. Agronomics characterites of wheat cultivars in response to urea treaded with urease inhibitor in coverage[J]. Applied Research & Agrotechnology, 2014, 6(3): 39-46.
- 8 江燕, 史春余, 王振振, 等. 地膜覆盖对耕层土壤温度水分和甘薯产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(6): 627-634.
Jiang Yan, Shi Chunyu, Wang Zhenzhen, et al. Effects of plastic film mulching on arable layer soil temperature, moisture and yield of sweet potato[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2014, 22(6): 627-634. (in Chinese)
- 9 Dabney S M, Delgado J A, Reeves D W. Using winter cover crops to improve soil and water quality[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2001, 32(7-8): 1221-1250.
- 10 邢述彦. 越冬期土壤温度场及其影响因素初探[J]. 太原理工大学学报, 2004, 35(2): 134-136.
Xing Shuyan. Study on soil temperature and effect factors during winter and spring[J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2004, 35(2): 134-136. (in Chinese)
- 11 齐鹏春, 刘志, 肖继兵, 等. 辽西地区冬麦越冬期秸秆覆盖对土壤温度和湿度的影响[J]. 陕西农业科学, 2014, 60(3): 1-5.
- 12 Koeck R, Hochbichler E, Holtermann C, et al. Soil moisture and soil temperature dynamics at the tree line of Mount Rax, 1999-2010[J]. Austring Journal of Forest Science, 2014, 131(1): 45-62.
- 13 李琳, 张海林, 陈阜, 等. 不同耕作措施下冬小麦生长季农田二氧化碳排放通量及其与土壤温度的关系[J]. 应用生态学报, 2008, 18(12): 2765-2770.
Li Lin, Zhang Hailin, Chen Fu, et al. CO₂ flux and its correlation with soil temperature in winter wheat growth season under different tillage measures[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 18(12): 2765-2770. (in Chinese)
- 14 李艳丽. 土壤管理方式对梨园土壤性状, 梨树生长及果实品质的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
Li Yanli. Effects on soil properties, pear tree growth, fruit quality by soil management method[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012. (in Chinese)
- 15 江才伦, 彭良志, 付行政, 等. 三峡库区柑橘园不同土壤管理方式对土壤温度的影响[J]. 果树学报, 2014, 31(3): 401-409.
Jiang Cailun, Peng Liangzhi, Fu Xingzheng, et al. Effects of different soil managements on soil temperatures of citrus orchard in Three Gorges Reservoir area[J]. Journal of Fruit Science, 2014, 31(3): 401-409. (in Chinese)
- 16 陈新燕. 不同土壤管理方式对南疆干旱区梨园土壤性质的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2012.
Chen Xinyan. Effects of different soil managements on soil properties of the pear orchard in the south of Xinjiang[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2012. (in Chinese)
- 17 陈军锋, 郑秀清, 臧红飞, 等. 季节性冻融期灌水对土壤温度与冻融特性的影响[J]. 农业机械学报, 2013, 44(3): 104-109.
Chen Junfeng, Zheng Xiuqing, Zang Hongfei, et al. Effects of irrigation on soil temperature and soil freeze-thaw characteristics during seasonal freeze-thaw period[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(3): 104-109. (in Chinese)
- 18 张祥彩, 李洪文, 何进, 等. 耕作方式对华北一年两熟区土壤及作物特性的影响[J]. 农业机械学报, 2013, 44(增刊1): 77-82.
Zhang Xiangcai, Li Hongwen, He Jin, et al. Effects of different tillage managements on characteristics of soil and crop in annual double cropping areas in northern China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp. 1): 77-82. (in Chinese)
- 19 刘洪波, 张江辉, 白云岗, 等. 不同水分处理对香梨地土壤温度的影响[J]. 水土保持研究, 2013, 20(5): 150-154.

- Liu Hongbo, Zhang Jianghui, Bai Yungang, et al. Impact of different water treatment on the soil temperature in pear orchard[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2013, 20(5): 150 – 154. (in Chinese)
- 20 孙彦坤, 曹印龙, 付强, 等. 寒地井灌稻区节水灌溉条件下土壤温度变化及水稻产量效应[J]. *灌溉排水学报*, 2009, 27(6): 67 – 70.
- Sun Yankun, Cao Yinlong, Fu Qiang, et al. Changing of soil temperature and rice yield under water-saving irrigation condition in well irrigated field of the cold region[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2009, 27(6): 67 – 70. (in Chinese)
- 21 蒋静, 冯绍元, 霍再林, 等. 不同灌溉条件对春玉米农田土壤水盐热分布影响的试验研究[C]//中国农业工程学会农业水土工程专业委员会. 现代节水高效农业与生态灌区建设(上册). 昆明: 云南大学出版社, 2010: 531 – 538.
- 22 刘洪波, 张江辉, 白云岗, 等. 不同节水灌溉技术对香梨地土壤温度的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2013, 31(3): 66 – 73.
- Liu Hongbo, Zhang Jianghui, Bai Yungang, et al. Impact of different water-saving irrigation technologies on soil temperature of pear orchard[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2013, 31(3): 66 – 73. (in Chinese)

Variability of Soil Temperature under Different Coverage Conditions in Alpine Region of China

Fu Qiang Ma Ziao Li Tianxiao Jiang Ruiqi

(School of Water Conservancy & Civil Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Choosing Harbin as the study area, a city of typical cold climate, through the field experiment in winter (from 2013 – 11 – 01 to 2014 – 04 – 30), we measured soil temperature in the depth of 3 cm, 5 cm, 8 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 40 cm, 60 cm, 100 cm, and 140 cm with four control groups (bare land, 5 cm thickness of straw mulch, 10 cm thickness of straw mulch, 15 cm thickness of straw mulch), and air temperature and solar total radiation under different control group. The statistical analysis results show that the straw mulch can prevent heat transfer in two directions, and its dominance varies with the outer environment. Under a certain depth the soil temperature is determined by the interaction between soil thermal conductivity and straw mulching conditions. The temperature of bare land has the biggest change rate, followed by the 5 cm thickness of straw mulch and the 15 cm thickness of straw mulch, and the last is the 10 cm thickness of straw mulch, which means that the influence of straw mulching on soil temperature does not increase monotonously with the increase of the thickness of the straw.

Key words: North cold area Straw mulching Soil temperature Difference coefficient