

不同积雪覆盖条件下土壤冻结状况及水分的迁移规律

魏丹, 陈晓飞, 王铁良, 邹艳丽, 杨忠臣

(1. 沈阳农业大学, 辽宁沈阳110161; 2. 辽宁省国土资源调查规划局, 辽宁沈阳110032)

摘要 对沈阳地区2003~2004年不同积雪厚度对潮棕壤土的冻结特征和冻融过程中的水热状况进行了研究。结果表明, 当近地面气温在-5℃左右时, 雪层厚度大于25 cm时, 气象条件的变化对雪层热状况的影响极其微弱, 积雪覆盖越厚, 土壤温度受外界影响越小。在冻结过程中, 积雪的存在, 保持了地温, 减缓了土壤冻结速度, 增加了土壤水分向冷端的迁移量。裸地的表层未冻水迁移量明显小于有积雪覆盖的处理。在融化过程中, 积聚在冻土层中的冰体从表层和下层冻结面双向融化, 由于受到下部未融化的阻隔, 表层融化土中的水分大量蒸发, 下面的融化层中的土壤水向深层入渗, 因此, 在刚融化后裸土处理的含水率剖面呈现中加大、上下小的状况; 但是有积雪覆盖的处理在近地表处由于融雪水的补给而增加。未冻水的含量受土壤温度、土壤质地、初始含水率、总含水率的影响; 当土壤质地相近时主要受其他因素的影响。

关键词 积雪; 融雪; 冻土; 水分迁移

中图分类号 S152.7+2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2007)12-03570-03

土壤冻结是一种常见的自然现象。我国冻土分布广泛, 多年冻土面积达215万hm², 约占全国陆地总面积的22.3%; 季节性冻土深度超过50 cm的区域达443万hm², 占国土总面积的46.3%; 如果再加上季节冻深小于50 cm的江淮和华北等地区, 我国冻土总面积占全国总面积75%以上^[1-3]。因此, 冻土首先被视作宝贵的土地资源, 对冻土区的土壤冻结和融通特征及其物理机制进行深入研究, 显得尤为重要。

积雪的低导热性能防止土壤的过度降温, 影响土壤的冻结深度、冻结速度、冻胀量和热质迁移状况^[4], 积雪深度的分布常常控制着冻土带的分布。笔者以不同积雪覆盖为试验条件对土壤冻结状况和水分迁移规律进行了研究。

1 试验设计

试验场地位于辽宁省沈阳市东郊(沈阳农业大学水利学院综合试验基地)。沈阳市地处欧亚大陆东岸, 中纬度地带, 气候类型属温带大陆性季风气候, 主要特点是: 冬冷夏暖, 寒冷期长; 春秋短促多风; 南湿北干, 雨量集中; 日照充足, 四季分明。年均气温为8.1℃; 冬季寒冷, 平均气温-9.1℃。最低气温0℃的天数平均为51 d, 寒冷期较长, 土壤最大冻结深度1.5 m。冬季极端最低气温为-30.6℃。

共设3个试区, 依次命名为1、2和3区, 试区均为3 m × 3 m, 由厚度为10 cm的保温板围成, 围墙高0.6 m。采用TRMZSI气象、生态环境监测系统自动记录气温、风速、风向、空气湿度、净辐射和不同深度的土壤温度。用冻土器人工测量各区的土壤冻结融化深度。用中子仪和时域反射仪定期观测各区的土壤含水率剖面。

冻融循环(2003年10月~2004年5月): 2004年2月2日在测区1、2、3堆雪分别至60、40和20 cm; 2004年2月22日, 测区1、2、3均堆雪至50 cm。

2 结果与分析

2.1 冻融循环 图1显示了2004年1月14日~3月14日的积雪深度与地面温度随时间的变化过程。由图1可知, 2004年1月14日~2月2日, 由于3个测区中的积雪覆盖厚度均接近于0 cm(图1-b), 地表的温度随着气温的变化而变化

(图1-c)。近地面1和2 m处的气温差别不大, 由于风的存在使得2 m处的气温稍小于1 m处的气温(图1-a)。自从2月2日人工地把测区1、2、3的雪堆至60、40、20 cm后, 地表温度的变化趋于平缓。从2月2~22日地表温度的对比中可见, 积雪覆盖深度越大, 土壤表面温度越高, 地表温度对气温的反应越迟缓。2月22日, 测区1、2、3中的雪堆至50 cm, 从2月22~29日, 3个测区中的雪深均大于25 cm, 地表温度基本保持稳定。积雪的存在会显著改变冻土层的边界条件, 从而改变冻土和积雪接触面的能量交换过程, 图2表明, 由于积雪的低导热性和大热容量, 雪层厚度对地表温度有明显影响。当近地面气温高于-8℃, 雪层厚度大于25 cm时, 气象条件的变化对雪层热状况的影响极其微弱。

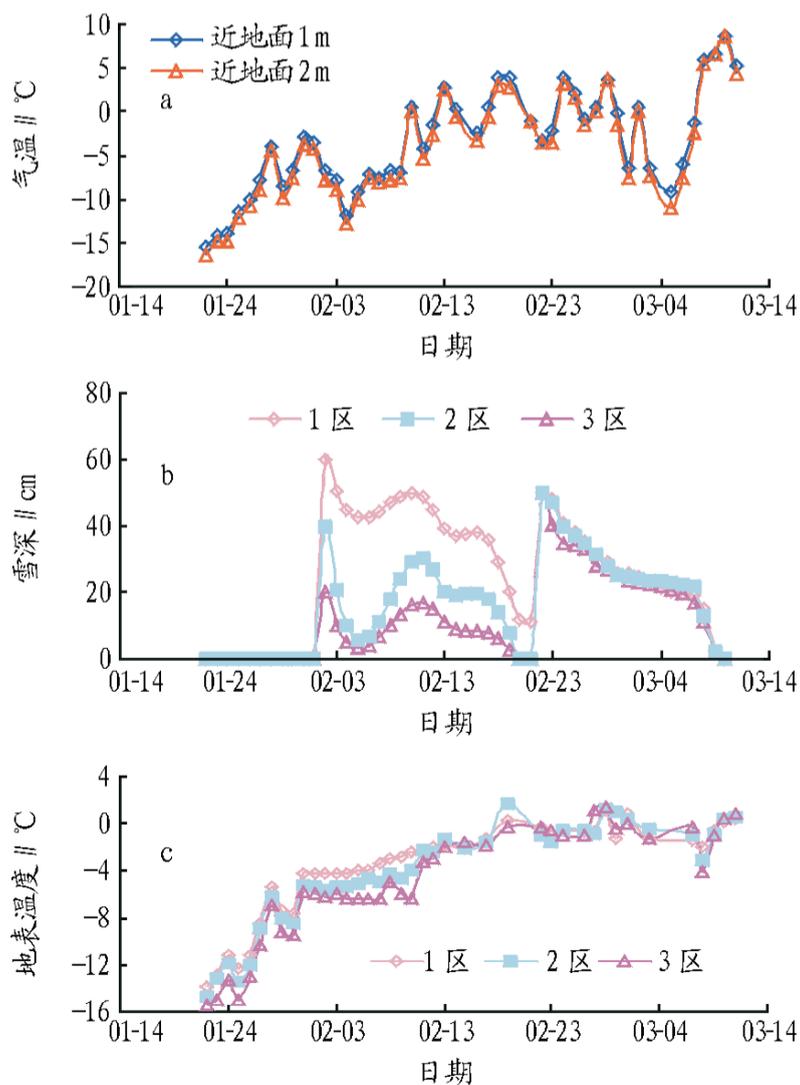


图1 2004年1月14日~3月14日气温、雪深和地表温度随时间的变化曲线

2.2 不同积雪覆盖对冻结深度的影响 图2为2003年12月3日~2004年4月17日3个测区的土壤冻结、融化深度随时间的变化曲线。

基金项目 国家自然科学基金项目(40272102)。
 作者简介 魏丹(1982-), 女, 黑龙江海林人, 硕士研究生, 研究方向: 土壤冻融过程中的水分迁移。
 收稿日期 2007-01-16

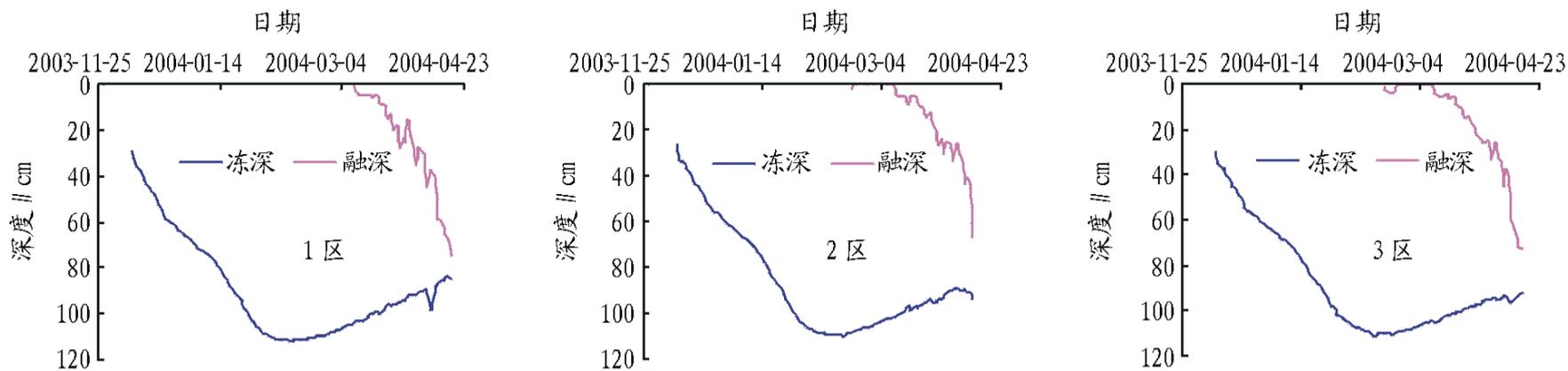


图2 3个测区积雪深度与冻深随时间的变化曲线

从图2 可明显地看出,2004 年1 月8 ~30 日冻结深度变化较快, 近于线性变化, 平均冻结速度约1.8 cm/d。当地表达最大负温后, 由于深层土壤仍降温, 冻深继续发展, 但增加幅度有所减小。1 区最大冻深出现在2004 年2 月20 日, 最大冻深111.6 cm;2 区最大冻深出现在2004 年2 月17 日, 最大冻深110 cm;3 区最大冻深出现在2004 年2 月13 日, 最大冻深111 cm。此后由于地下热量的供给, 下冻结界面冻冰开始融化, 但速度较慢,1d 不足0.5 cm。当地表达正温后, 土壤层中出现两冻融界面, 冻结从上下界面同时向中间层融化。一般而言, 冻结上界面融冻速度快于下层, 主要原因在于土壤由上层辐射热传输得到的热量较下层土壤热通量大。根据

图2 计算得出, 上层融冰速度约2 cm/d, 而下界面此时融冰速度虽有所加快, 但仍慢于上冻结界面的融化速度。整个冻土层从发生、发展至消融约140 d。3 个区出现最大冻深的时间和数值相差甚小, 主要原因是1、2、3 区自2003 年11 月底~2004 年2 月2 日表面均无积雪。积雪时间较晚, 气温开始回升(2004 年2 月2 日在测区1、2、3 人工堆雪分别至60、40 和20 cm 厚;2 月22 日, 测区1、2、3 中的雪堆又均至50 cm 厚)。积雪开始前,1 区冻深最大,2 和3 区接近。积雪开始后, 雪盖最厚的1 区冻深逐渐高于雪盖最薄的3 区, 体现出了雪盖的保温作用随雪盖厚度增加而增加的情况。融化深度各区基本相同, 说明受雪盖厚度的影响较小。

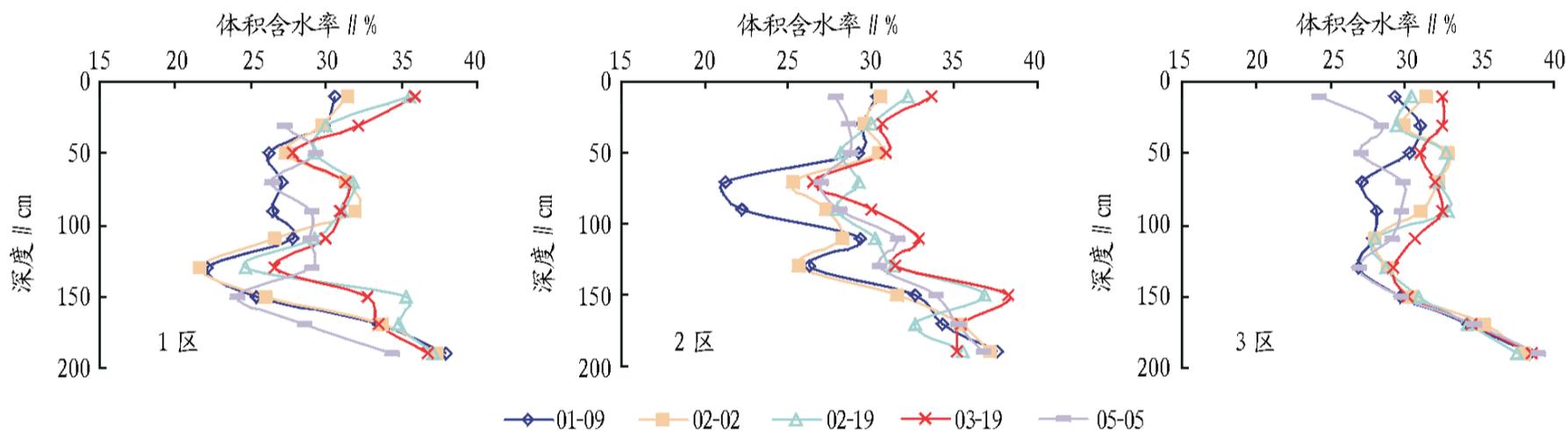


图3 2004 年各区不同时间体积含水率随深度变化的对比曲线

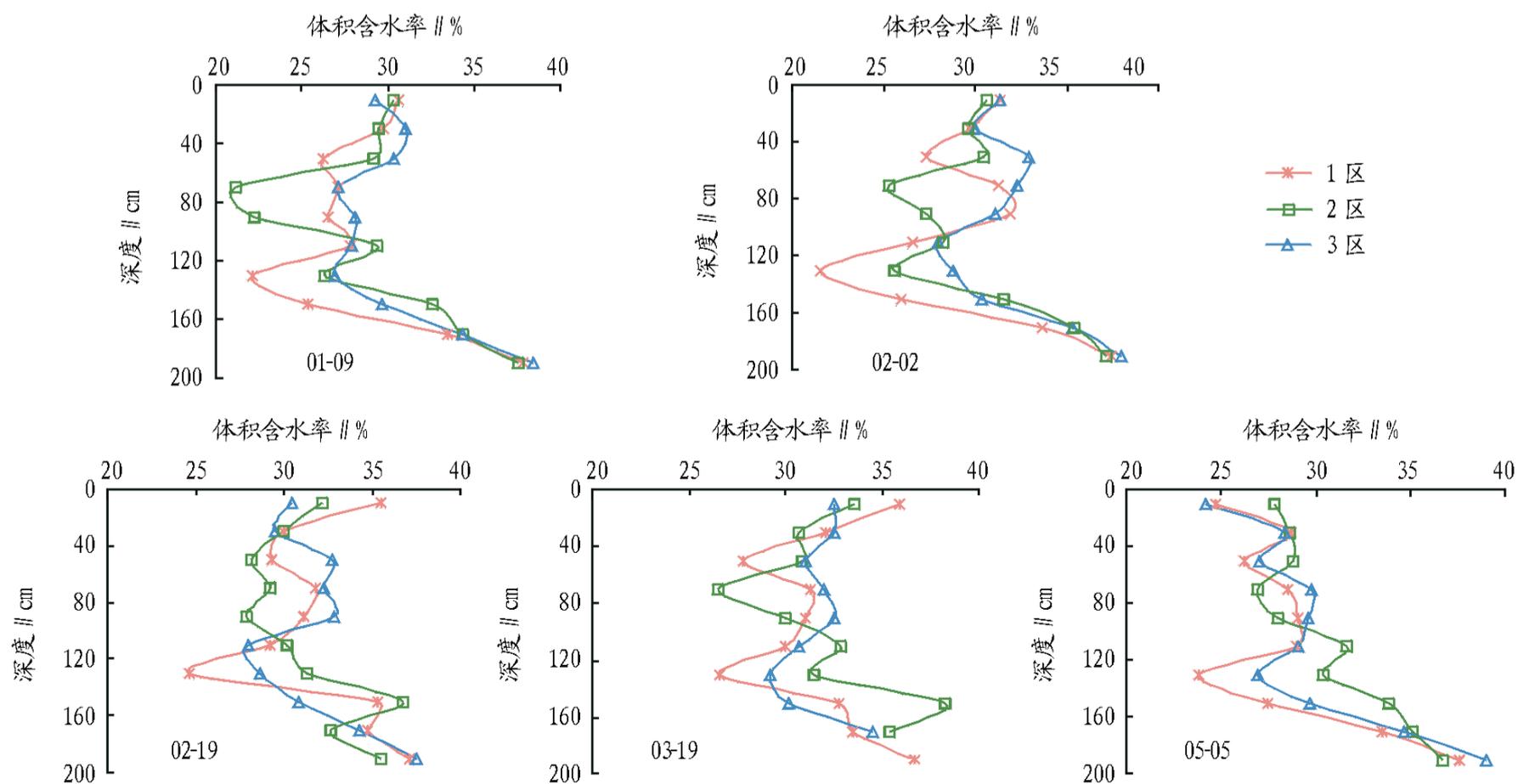


图4 2004 年1 月9 日~5 月11 日3 个区土壤体积含水率的对比曲线

2.3 不同积雪覆盖条件对土壤冻融期间水分状况的影响

将2004年1月9日(上冻未积雪前)、2月2日(积雪未融化前)、2月19日(积雪融化中)、3月19日(积雪全部融化)、5月5日(冻土全部融化)各区的土壤含水率(总含水率)剖面示于图3。将同一时间不同区的土壤含水率(总含水率)剖面对比示于图4。

由图3可见,在冻结过程中,在温度梯度作用下,各区土壤水分向冻层迁移,随冻结深度逐渐增大,冻结带含水量增大比较明显。随水分逐渐向冻结带迁移,在冻结面下方出现了一个明显的水分低含量带。1月9日到2月2日70~110 cm各区含水率变化较大,总含水率增大了约5%,主要是因为温度下降多,冻结速度快,导致水分迅速向冻结带迁移,使总含水率增大。在冻结土壤融化过程中,3月19日到5月5日0~50 cm总含水率下降了约7%,50~100 cm下降了约4%,这是由于积雪全部融化,因受太阳辐射影响土壤表面温度升高较快,而中部土壤相对缓慢,冻土段内的水分在温度梯度的作用下,从高温端向冻土层内迁移。

由图4可见,在上冻未积雪前3个区的初始表层含水率基本相同是因为3个区的自然状况基本相同,3区略低是由于测点位置不同造成的。积雪后,随着时间的推移在积雪融化过程中3个区的表土含水率比初始值都有所增大,但增幅不同,1区增加得最多,约4%,这是因为气温升高积雪融化,融雪下渗到土壤中使表土含水率增大。在积雪融化过程中3区含水率变化较明显,在80~100 cm含水率骤然降低8%,2区降低3%,1区仅降低1%,这是积雪厚度不同使地温产生差异,影响了冻结速度,造成了水分迁移速度和迁移量的不同。积雪全部融化后,气温回升使地温升高,冻土层开始融化,各区20~40 cm土壤含水率都有所增加,这一方面是融雪下渗造成的,另一方面是在融化过程中,聚集在冻土中的冰体从表面开始融化,由于受到下层未融化层的阻隔,在温度

梯度的作用下,融水向表层迁移并快速蒸发。

3 结论

积雪覆盖对土壤温度、冻土深度、冻结速率、水分迁移等均有显著影响。积雪的弱导热性和大热容量,很大程度上阻隔了地层热能的散失。当近地面日平均气温在-5左右时,雪层厚度大于25 cm时,气象条件的变化对土壤热状况的影响极其微弱。试验结果表明,雪覆盖40 cm,最大冻深只有40 cm左右;雪覆盖20 cm,最大冻深在80 cm左右;而无雪覆盖处理的最大冻深则达到140 cm。

在冻结过程中,由于积雪的覆盖,保持了地温,减缓了土壤冻结速度,影响了水分迁移过程。地温是影响水分迁移的主导因素,气温降低引起部分液态相变成冰,土壤冻结,冻结带土壤水势降低,由此产生的土水势梯度使水分由高土水势未冻带向低土水势的冻结带迁移。土壤在冻结过程中水分向冻结界面迁移的现象十分明显,土温越低,冻结速度越快,原位冻结的水分越多,向冷端迁移水量减少;反之,土温越高,冻结速度越慢,原位冻结的水分越少,向冷端迁移水量增多。通过裸地和有积雪覆盖的情况对比可知,由于裸地无积雪覆盖保护,表层土壤温度急剧下降,表层土壤的大部分水分未来得及迁移就原位冻结,因此,总含水量明显比有雪覆盖的处理低,但是裸地处理的冻结深度远远大于有雪覆盖的处理,加上较深土层处的冻土层温度不低,只是稍低于0,因此,其较深冻土层中的总含水量明显高于有雪覆盖的处理。

参考文献

- [1] 徐学祖,王家澄,张立新.冻土物理学[M].北京:科学出版社,2001:130-135.
- [2] 张立新,韩文玉,顾同欣.冻融过程对景电灌区草窝滩盆地土壤水盐动态的影响[J].冰川冻土,2003,25(3):297-302.
- [3] 樊贵盛,郑秀清,贾宏骥.季节性冻融土壤的冻融特点和减渗特性的研究[J].土壤学报,2000,37(1):24-32.
- [4] 马虹,胡汝骥.积雪对冻土热状况的影响[J].干旱区地理,1995,18(4):23-27.