

松嫩平原冰雪融化期黑土水分变化规律

王子龙^{1,2,3}, 付强^{1,2}, 孟军³, 王湘浩¹, 王晓巍⁴

(1. 东北农业大学 水利与建筑学院, 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江省粮食产能提升协同创新中心, 哈尔滨 150030;
3. 东北农业大学 农林经济管理博士后科研流动站, 哈尔滨 150030; 4. 黑龙江大学 水利电力学院, 哈尔滨 150080)

摘要: 通过冰雪融化期黑土水分野外观测试验, 对松嫩平原4种不同积雪覆盖地表条件下的土壤总含水量变化规律进行了分析。结果表明, 不同边界条件下, 土壤总含水量的变化趋势不同, 0~40 cm 土层的表现尤为显著, 显示出土壤水分变化对地表条件的响应存在明显的时间差异; 积雪覆盖的反“S”型水分剖面与裸地的反“C”型水分剖面主要区别在于140 cm以下土层。研究结果可为松嫩平原黑土区冻融期土壤水分调控与管理提供科学依据。

关键词: 松嫩平原; 黑土; 冻融土壤; 土壤水分; 积雪

中图分类号: S152.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)01-0173-03

Analysis on variations of black soil water in Songnen Plain during ice and snow thawing periods

WANG Zi long^{1,2,3}, FU Qiang^{1,2}, MENG Jun³, WANG Xiang hao¹, WANG Xiao wei⁴

(1. College of Water Conservancy and Architecture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;

2. Collaborative Innovation Center of Grain Production Capacity Improvement in Heilongjiang Province,

Harbin 150030, China; 3. Postdoctoral Mobile Research Station of Agricultural and Forestry Economy Management, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;

4. College of Water Conservancy and Electric Power, Heilongjiang University, Harbin 150080, China)

Abstract: On the basis of the field observation of black soil water during the ice and snow thawing periods, the variations of total soil water content under four different snow cover conditions in the Songnen Plain were analyzed. The results showed that the variation tendencies of total soil water content are different under different surface conditions, especially in the soil layer with the depth of 0~40 cm, and soil water variation has obvious response time difference to the surface condition. The difference of soil water content between the reverse S shaped moisture profile of snow covered soil and the reverse C shaped moisture profile of bare soil existed in the soil layer below the depth of 140 cm. The research results can provide the scientific basis for the freezing-thawing soil water control and management in the black soil area of the Songnen Plain.

Key words: Songnen Plain; black soil; freezing-thawing soil; soil water; snow

土壤水是农业生产的物质基础, 是土壤内物质迁移、转化过程的必要介质, 不同形式的水资源都必须转化为土壤水以后才能被作物所利用。土壤季节性冻融现象普遍存在于我国北方寒冷地区, 是土壤水分时空分布剧烈变化的关键时期和寒区生态水循环的重要环节。因此, 掌握季节性冻融过程中的土壤水分状况和变化规律, 对于合理确定冻融期土壤水分调控技术参数、保障作物生长发育具有重要意义。

目前, 国内外学者对冻融期土壤水分迁移机理^[1-6]、不同边界条件对水分迁移的影响^[7-10]、冻融土入渗规律^[11-14]等方面开展了大量研究。然而, 由于土壤类型、结构、持水性及气

候特征的不同, 导致不同区域土壤在冻融条件下的水分分布状况存在较大差异。因此, 本研究通过对松嫩平原黑土水分进行野外观测试验, 分析冰雪融化期土壤水分变化规律, 期为松嫩平原黑土区土壤水分调控提供科学依据。

1 材料与方法

野外观测试验于2012年11月至2013年5月在黑龙江省哈尔滨市东北农业大学水利与建筑学院水利综合试验场进行。该试验场位于松嫩平原东南部, 属中温带大陆性季风气候, 春季低温大风, 冬季寒冷多雪, 降雪期集中在每年11

收稿日期: 2014-06-20 修回日期: 2014-11-09 网络出版时间: 2014-12-03

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20141203.1132.003.html>

基金项目: 黑龙江省教育厅科学技术研究项目(12521016)

作者简介: 王子龙(1982-), 男, 山东胶州人, 副教授, 博士, 主要从事寒区农业水土资源高效利用研究。E-mail: wzl1216@163.com

通讯作者: 付强(1973-), 男, 辽宁锦州人, 教授, 博士, 主要从事农业水土资源高效利用理论、方法及应用研究。E-mail: fuqiang@neau.edu.cn

月至次年 1 月,多年平均最大冻结深度为 1.7~2.5 m^[15]。冰雪融化期为 2013 年 3 月至 5 月。试验场为旱作农田,表层土壤为黑土(0~40 cm),中、下层(40~200 cm)为黏土。

以积雪作为地表覆盖因素,分别设置裸地(LD)、正常积雪覆盖地(ZD)、压密积雪覆盖地(YD)和加厚积雪覆盖地(JD)4种边界条件处理,各处理试验样方尺寸为 1 000 cm×1 000 cm。各处理样地之间埋设 70 cm 深的聚氯乙烯薄膜隔水。每种处理分别测定地表以下 20 cm、40 cm、60 cm、100 cm、140 cm、180 cm 六个深度层次的土壤含水量。融化期土壤总含水量采用土壤中子水分仪测定。

2 结果与分析

根据冰雪融化期土壤剖面总含水量实测数据,以时间为横轴,以土壤总含水量为纵轴,分别绘制了不同剖面深度各边界条件处理的土壤总含水量随时间变化的折线图,结果见图 1、图 2;以土壤总含水量为横轴,以土壤剖面深度为纵轴,分别绘制了不同边界条件处理融化期各时段的土壤总含水量随空间变化的折线图,结果见图 3。

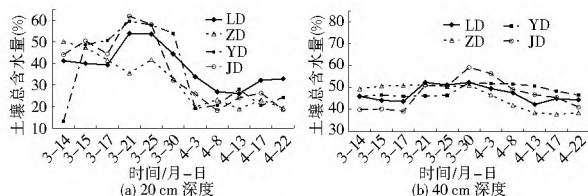


图 1 不同处理下浅层土壤总含水量时间分布

Fig. 1 Temporal distributions of total soil water content in the shallow soil layer under different surface conditions

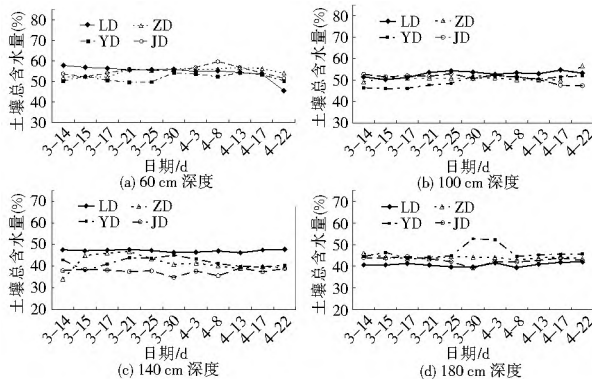


图 2 不同处理下深层土壤总含水量时间分布

Fig. 2 Temporal distributions of total soil water content in the deep soil layer under different surface conditions

从图 1(a)可以看出,3月14日-3月17日期间气温开始缓慢升高,积雪开始融化,LD、ZD和JD处理土壤表层 20 cm 处含水量发生小幅波动,YD处理土壤总含水量较大幅波动,波动幅度达 30%~40%;3月17日-3月25日期间气温升高较快,土壤上边界积雪快速融化,融雪水下渗进入土壤表层,导致土壤 20 cm 总含水量快速升高,其中,ZD处理的积雪消融要比 YD 和 JD 处理滞后 4 d,这主要是由于没有被扰动过的积雪反照率较其他处理高,导致实际进入雪层的净辐射减少,降低了 ZD 处理积雪消融的速率;3月25日开始,土壤表层积雪进一步融化,土壤孔隙体积增大,土壤水入渗速率加快,加之地表蒸发剧烈,因此自 3月25日-4月3

日的土壤表层总含水量急剧下降;4月3日之后,在降雨、蒸发、入渗的综合作用下,不同处理 20 cm 土壤总含水量呈现小幅交替波动的现象。总体上,不同处理 20 cm 土壤总含水量随时间呈上升-下降-小幅波动的变化过程。

由图 1(b)可知,3月14日-3月17日期间,40 cm 深度的土壤总含水量变化非常平稳;3月17日-3月21日期间,ZD和YD处理土壤总含水量呈缓慢上升趋势,而LD和JD处理则呈陡然上升趋势;3月21日-3月25日期间,不同处理 40 cm 土壤总含水量无明显变化;3月25日-3月30日,由于 40 cm 土壤尚未融化导致水分入渗缓慢、大量融水驻留,YD和JD处理土壤总含水量骤升,而LD和ZD处理土壤剖面含水量不升反降,这是由于LD处理全部、ZD处理绝大部分积雪已经融化,呈半裸地表,随着水分的蒸发,表层土壤总含水量降低,土水势下降,下层土壤水分在土水势梯度的作用下向上迁移,导致该层土壤总含水量下降;3月30日之后不同处理土壤总含水量开始缓慢下降。总体上,不同处理 40 cm 土壤总含水量随时间呈上升-下降-小幅波动的变化过程。对比不同处理 20 cm 和 40 cm 土壤总含水量的变化过程,前者变化剧烈、波动较大,后者变化相对平稳、波动较小。

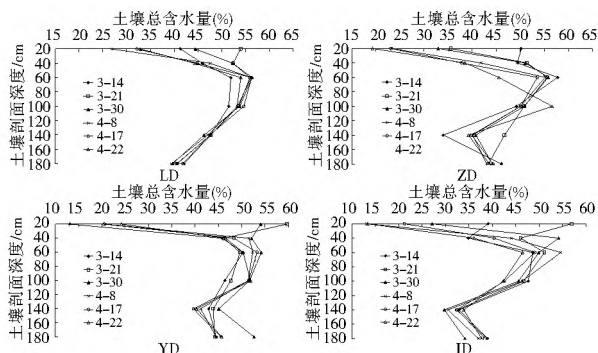


图 3 不同处理土壤总含水量一维垂直向空间分布

Fig. 3 Vertical one dimensional spatial distributions of total soil water content under different surface conditions

由图 2(a)可知,不同处理 60 cm 土壤总含水量随时间变化的差异较小,各处理变化曲线在较小土壤含水量区内聚集,LD和ZD处理的土壤总含水量随时间变化的曲线在冰雪融化中期(3月21日-4月8日)几乎叠加,同时,YD和JD处理的土壤总含水量随时间变化的曲线表现出相反的变化过程。LD和ZD处理在3月21日之后的曲线变化比较平稳,其中,由于地表无积雪融化水入渗补充,因此LD处理土壤总含水量几乎没有发生变化;ZD处理在3月17日-3月21日期间土壤总含水量有小幅增大,主要是由于ZD处理在3月中旬以后积雪逐渐融化为裸地,融雪水入渗导致含水量小幅增加,但在4月17日突然显著下降,主要是由于天气骤然变暖,60 cm 土壤剖面冻土开始融化,导致土壤导水率增大,水分快速向下层剖面入渗。YD处理土壤总含水量变化均呈上升-下降-上升-下降-上升-下降趋势,JD处理土壤总含水量变化均呈下降-上升-下降-上升-下降趋势,若将JD处理推迟一个时间节点,则YD和JD处理土壤总含水量变化趋势相同,YD处理较JD处理土壤总含水量变化明显具有滞后效应,说明两种不同积雪覆盖形式对土壤水分迁移产生了影响,两种处理的积雪反照率不同,影响了土

壤上边界的能量输入,进而改变了雪层内部的能量变化和雪层对土壤的能量传递,引起了土层内温度势的分布差异,而温度势作为构成冻融土壤土水势的重要组成部分,对土壤水分迁移产生直接影响。由于受到土壤深度层次的影响,100 cm 以下土层总含水量变化相对简单,其中,100 cm 土壤剖面不同处理土壤总含水量均呈先上升后稳定趋势;140 cm 土壤剖面 LD 处理土壤总含水量无较大波动,波动幅度均不超过 1%,ZD 和 YD 处理土壤总含水量先增大后减小,JD 处理土壤总含水量在 3 月 25 日前几乎无变化,3 月 25 日后呈周期性小幅震荡;180 cm 土壤剖面不同处理土壤总含水量在绝大多数时段无明显变化。

由于试验期间地下水位保持恒定,未冻结土层含水量在整个冻融期变化很小。对于冻结层,水分在冻结锋面(冻结缘)处富集,形成土壤冻结期特殊的水分剖面。随着春季土壤自地表向下消融,融化区的土壤水分(土水势)大于其下的冻土层,使得土壤水分由融化区向融化锋面迁移,造成该处水分富集,这种现象是土壤消融过程中所特有的。伴随着土壤自下而上的消融,冻土层在冻结期所积聚的水分融化后又逐渐回补未冻层,并一直持续到土壤完全消融,土壤水分剖面又恢复为非冻土的相对稳定剖面。

由图 3 可知,不同处理一维垂直剖面土壤总含水量均呈表层土壤水分变化剧烈、中下层土壤水分变化较小的规律。从土壤水分剖面形态看,LD 裸地在融化期土壤总含水量的一维垂直空间分布图为反“C”型水分剖面,土壤水分在 60~100 cm 剖面处达到峰值,下层剖面土壤总含水量随深度增加而逐渐降低;而积雪覆盖的 ZD、YD 及 JD 处理,其融化期土壤总含水量的一维垂直空间分布图为反“S”型水分剖面,土壤水分在 60~100 cm 剖面处达到峰值,下层剖面土壤总含水量在 140 cm 处降到低点,140 cm 以下土层土壤剖面总含水量继续升高。

3 结论

本文通过试验分析了松嫩平原农田黑土冰雪融化期土壤水分的变化规律,发现不同剖面深度土壤总含水量随时间具有不同变化趋势,40 cm 以上土层含水量变化剧烈,60 cm 以下土层含水量变化较小,同时不同边界条件处理下土壤总含水量变化存在时间差异;积雪覆盖的地表处理影响了冰雪融化期土壤水分在一维垂向空间上的重新分配,致使裸地处理与积雪覆盖处理一维垂直剖面土壤总含水量变化曲线具有完全不同的形态特征。

参考文献(References):

[1] 徐学祖,邓友生.冻土中水分迁移的试验研究[M].北京:科学出版社,1991.(XU Xue zu, DENG You sheng. Experimental study on water migration in freezing and frozen soil[M]. Beijing: Science Press, 1991. (in Chinese))

[2] FOX J D. Incorporating freeze thaw calculations into a water balance model[J]. Water Resources Research, 1992, 28(9): 2229-2244.

[3] STAHLI M, JANSSON P E, LUNDIN L C. Soil moisture redistribution and infiltration in frozen sandy soils[J]. Water Resources Research, 1999, 35(1): 95-103.

[4] 彭振阳,黄介生,曾文治,等.季节性冻融土壤水分运动规律[J].武汉大学学报:工学版,2011,44(6):696-700.(PENG Zhen yang, HUANG Jie sheng, ZENG Wen zhi, et al. Water movement regularities of seasonal freezing-thawing soil[J]. Journal of Wuhan University: Engineering Science, 2011, 44(6): 696-700. (in Chinese))

[5] LI Rui ping, SHI Hai bin, FLERCHINGER G N, et al. Simulation of freezing and thawing soils in Inner Mongolia Hetao Irrigation District, China[J]. Geoderma, 2012(173-174): 28-33.

[6] 马睿,伍靖伟,查元源,等.内蒙古河套灌区冻融土壤水分迁移简化模型[J].灌溉排水学报,2012,31(6):1-5.(MA Rui, WU Jing wei, ZHA Yuan yuan, et al. Simplified model simulating soil moisture migration during freeze and thaw in Hetao Irrigation District, Inner Mongolia[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2012, 31(6): 1-5. (in Chinese))

[7] 尚松浩,毛晓敏,雷志栋,等.土壤水分动态模拟模型及其应用[M].北京:科学出版社,2009.(SHANG Song hao, MA Xiao min, LEI Zhi dong, et al. Dynamic simulation model and its application of soil water[M]. Beijing: Science Press, 2009. (in Chinese))

[8] 郭占荣,荆恩春,聂振龙,等.冻结期和冻融期土壤水分迁移特征分析[J].水科学进展,2002,13(3):298-302.(GUO Zhan rong, JING En chun, NIE Zhen long, et al. Analysis on the characteristics of soil moisture transfer during freezing and thawing period[J]. Advances in Water Science, 2002, 13(3): 289-302. (in Chinese))

[9] 荆继红,韩双平,王新忠,等.冻结冻融过程中水分运移机理[J].地球学报,2007,28(1):50-54.(JING Ji hong, HAN Shuang ping, WANG Xi r zhong, et al. The Mechanism of water movement in the freezing-thawing process[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2007, 28(1): 50-54. (in Chinese))

[10] 尚松浩,雷志栋,杨诗秀,等.冻融期地下水位变化情况下土壤水分运动的初步研究[J].农业工程学报,1999,15(2):64-68.(SHANG Song hao, LEI Zhi dong, YANG Shi xiu, et al. Study on soil water movement with changeable groundwater level during soil freezing and thawing[J]. Transactions of the CSAE, 1999, 15(2): 64-68. (in Chinese))

[11] 郑秀清,樊贵盛.土壤含水率对季节性冻土入渗特性影响的试验研究[J].农业工程学报,2000,16(6):52-55.(ZHENG Xi r qing, FAN Gui sheng. Influence of moisture content on infiltration characteristics in seasonal frozen and thawed soils[J]. Transactions of the CSAE, 2000, 16(6): 52-55. (in Chinese))

[12] 陈军锋,郑秀清,刘萍,等.不同地表条件下季节性冻融土壤入渗能力的预报模型[J].灌溉排水学报,2013,32(4):35-39.(CHEN Jun feng, ZHENG Xi r qing, LIU Ping, et al. Infiltration capacity predicting model of seasonal freezing and thawing soil under different surface conditions[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2013, 32(4): 35-39. (in Chinese))

[13] 周宏飞,周宝佳,汤英,等.古尔班通古特沙漠季节性冻土入渗特性试验研究[J].干旱区地理,2009,32(4):532-536.(ZHOU Hong fei, ZHOU Bao jia, TANG Ying, et al. Experimental study on infiltration characteristics of seasonal frozen soils in Gurban Tunggut Desert[J]. Arid Land Geography, 2009, 32(4): 532-536. (in Chinese))

[14] ZHENG Xi r qing, VAN LIEW M W, FLERCHINGER G N. Experimental Study of Infiltration into a Bean Stubble Field during Seasonal Freeze Thaw Period[J]. Soil Science, 2001, 166(1): 3-10.

[15] 周幼吾,邱国庆,郭东信,等.中国冻土[M].北京:科学出版社,2000.(ZHOU You wu, QIU Guo qing, GUO Dong xin, et al. Frozen ground of China[M]. Beijing: Science Press, 2000. (in Chinese))