

积雪与地表联合覆盖条件下冻融土壤水盐运移规律

唐文政, 王春霞, 范文波, 蓝明菊

(石河子大学水利建筑工程学院, 新疆 石河子 832000)

摘要: 为探索石河子灌区冻融季节积雪与地表联合覆盖条件下土壤水盐运移的变化规律, 2015—2016年通过田间小区试验, 进行了秸秆、地膜、活性炭3种地表覆盖和裸地对照在整个季节性冻融期土壤水盐时空动态变化规律研究。结果表明; 地表覆盖比裸地具有更好的保墒、降盐效果。冻结土壤完全融通后, 秸秆、活性炭覆盖出现含水量增幅的最大土层范围分别是0—30, 0—40 cm, 反映出这2种覆盖经历冻融过程后更有利于土壤水分的保持和融雪水的高效利用; 活性炭、秸秆、地膜覆盖和裸地在0—30 cm土层含盐量相比初始值的增幅分别为18.08%, 20.30%, 30.91%, 32.81%, 可见活性炭覆盖下抑制盐分向上运移效果最为显著, 秸秆覆盖次之; 经历冻融过程, 土壤水分和盐分变异性随土壤深度的增加而呈现递减趋势。

关键词: 地表覆盖; 冻融土壤; 水盐运移; 温度势梯度

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)03-0337-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2017.03.055

A Study on Water and Salt Movement Law of Freezing and Thawing Soil Under Snow and Surface Coverage

TANG Wenzheng, WANG Chunxia, FAN Wenbo, LAN Mingju

(College of Water & Architectural Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000)

Abstract: In order to explore the changing rules of soil water and salt movement under the condition of snow cover and surface mulching during the freezing and thawing season in Shihezi irrigation areas, we conducted a field plot test during 2015—2016 and investigated the temporal and spatial dynamic rules of water and salt in the soil with three different surface coverings, i. e. straw, plastic film, activated carbon, and bare land, during the whole seasonal freezing and thawing period. The results suggested that surface coverage was more effective in the preservation of soil moisture and salt reduction than the bare land. After the frozen soil was fully thawed, the deepest soil layer in which the water content increased was 0—30 cm and 0—40 cm for the soil covered with straw and activated carbon, respectively, indicating that the two kinds of coverings were more beneficial to the maintenance of soil moisture and the efficient use of snowmelt water after the freezing and thawing process. Compared with the initial value, the increase in salt content in the 0—30 cm soil layer in the soil covered with activated carbon, straw, plastic film, and bare land was 18.08%, 20.30%, 30.91%, and 32.81%, respectively, suggesting that the inhibition effect on the upward movement of salt by activated carbon coverage was the most significant, followed by straw mulching. During the process of freezing and thawing, the variability of soil moisture and salinity showed a decreasing tendency with the increasing of soil depth.

Keywords: surface coverage; freezing and thawing soil; water and salt movement; temperature gradient

季节性土壤冻融是受气候、土质特性、土温和含水量等多种因素共同影响下在一定土壤深度发生的周期性冻结和消融过程。土壤的冻融过程伴随着水分相变、冻胀、热量传输、水盐重分布等复杂的物理、物理化学、热学和力学现象, 对春播、土壤结构均有不同程度的影响, 长久以往会造成农业耕地土壤干旱,

诱发次生盐渍化, 基于季节性冻融对农耕土壤带来的危害。近年来, 针对土壤冻融过程中调节水盐运移、储水保墒等方面的研究甚多。姚宝林等^[1]、李瑞平等^[2]、彭振阳等^[3]、倪东宁等^[4]研究发现, 秋冬灌在不同时期内不仅能够淋洗耕作层土壤盐分 and 抑制盐分表聚, 同时适宜的灌水量还能提高作物的出苗率。刑

收稿日期: 2017-01-13

资助项目: 国家自然科学基金新疆联合基金重点项目(u1203282); 地区基金项目(51569028); 石河子大学青年骨干教师培训项目(CZ0245)

第一作者: 唐文政(1988—), 男, 研究生, 主要从事节水灌溉方面的研究。E-mail: twzzmh213@foxmail.com

通信作者: 王春霞(1979—), 女, 博士, 副教授, 主要从事节水灌溉理论与技术方面的研究。E-mail: wangchunxia1979@139.com

述彦等^[5]、付强等^[6]、白巴特尔等^[7]研究发现,地表覆盖能够平抑土温变幅、滞后土壤冻结时间、增温保墒效果显著。

随着对冻融土壤特性的深入探索,学者的研究重心也由冻融土壤的抑盐保墒研究转移到对影响其水盐运移的因子以及运移机理上的研究。Bing 等^[8]研究发现,温度梯度是冻融土壤水盐运移的主要影响因素。Nagare 等^[9]进行了室内冻结条件的模拟,研究了土壤冻结过程对土壤含水率和温度的空间重分布的影响。Getachew 等^[10]采用改进的 VSMB 水文模型,模拟了融化期土壤含水率的变化,证实实测值与预测值吻合较好。陈军锋等^[11-13]就季节性冻融期灌水、秸秆覆盖、地下水浅埋对冻融土壤水热特性进行了深入研究,提出了针对性的科学观点。李瑞平等^[14-15]对冻融期土壤水盐耦合运移规律进行了模拟预测后得出利用模型对冻融期土壤水盐耦合运移规律的模拟研究精度高、模拟效果好。

可见,季节性冻融土壤的水盐运移过程所受影响因子较多,运移机制也因地域环境、试验方案不同而复杂多变。石河子灌区地处新疆天山北麓,准噶尔盆地南缘,夏季少雨蒸发量大,冬季寒冷且降雪量丰富,灌区内主要滴灌种植棉花、玉米等作物,为充分利用当地的积雪气候条件和作物秸秆,本文开展田间小区试验,研究积雪与地表联合覆盖对冻融土壤的作用效果,分析不同地表覆盖条件下冻融土壤水盐运移的变化规律,以期评估来年春季土壤耕作层水盐环境提供理论依据。

1 材料与方法

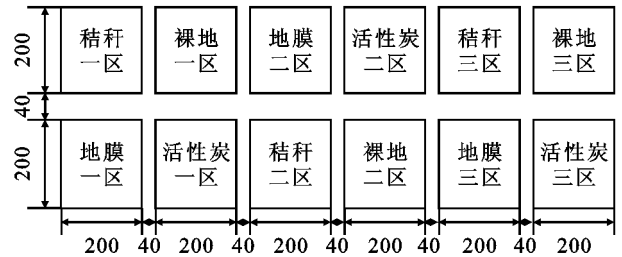
1.1 研究区概况

试验于 2015 年 11 月 29 日—2016 年 4 月 5 日在现代节水灌溉兵团重点实验室基地暨石河子大学节水灌溉试验站进行。试验站位于石河子市石河子大学农业试验场,东经 85°59'47",北纬 44°19'28",海拔 412 m,平均地面坡度为 6‰。地处准格尔盆地西南缘天山北麓中段,属中温带大陆性干旱气候,年均日照时间为 2 865 h,多年平均降雨量为 207 mm,平均蒸发量为 1 660 mm,其中 ≥ 10 °C 积温为 3 463.5 °C,无霜期为 170 d。年均气温为 7.7 °C,最高气温出现在 7 月,7 月平均气温 25.4 °C;最低气温出现在 1 月,1 月平均气温 -5.5 °C,年平均风速为 1.5 m/s。试验田地下水埋深 5 m 以下,土壤质地为中壤土,0—120 cm 土壤平均干容重为 1.53 g/cm³,田间持水

量为 31.62%,物理性粘粒含量(粒径小于 0.01 mm)大于 20%,土壤含盐量 0.23%。在本次试验时间段内石河子市出现多次降雪天气,其中共有 2 次较大程度的降雪,分别是在 2015 年 12 月 11 日(降雪持续 3 d)和 2016 年 1 月 17 日(降雪持续 4 d),2 次降雪持续时间长、降雪量大。最后一次降雪出现在 2016 年 3 月 2 日,当日天气为雨夹小雪。

1.2 试验设计

该试验场地共分为 12 个试验小区,设 4 个处理,分别为裸地,地膜覆盖,10 cm 厚的秸秆覆盖(1.8 kg/m²),5 cm 厚活性炭覆盖,每个处理重复 3 次。每个试验小区规格为 2 m×2 m,相邻试验小区间隔 40 cm,以防止小区土壤水侧渗,在每个试验小区四周挖深 60 cm,紧贴试验小区内壁用 PVC 塑胶板(相邻 PVC 塑胶板用玻璃胶水粘结实)阻挡。秸秆、活性炭覆盖处理厚度均匀,所用秸秆为当年试验场试验田种植的棉花秆,切成长度为 3~5 cm 短秆。活性炭为当年试验站试验场种植的棉花秆不充分燃烧后加水冷却形成的充满空隙的块状或颗粒状碳粒。考虑到在试验期内浅层土壤温度对外界环境比较敏感,不同时期土壤温度变化幅度相对剧烈,在 4 种处理小区不同土壤深度 10,20,30,40 cm 处理设土壤温度探头(i500-T 型土壤温度记录仪)自动采集。试验时间为 2015 年 11 月 29 日—2016 年 4 月 5 日。试验现场布置如图 1 所示。



注:图中数据单位为 cm。

图 1 试验现场布置示意

1.3 数据观测与处理

试验在 2015 年 11 月 29 日—2016 年 4 月 5 日进行。试验期间对日平均气温、太阳辐射、土壤含水率(质量,下同)和电导率分别实时监测。日平均气温、太阳辐射数据采用试验站安装的自动气象站观测。土壤含水率采用烘干法测定。土壤电导率用 16 g 烘干土样和 80 mL 蒸馏水按照 1:5 的比例进行土水混合、搅拌均匀、稳定沉淀后提取液测定电导率值,然后换算成土壤的含盐量。试验期间土壤水盐监测指标基本情况见表 1。

表 1 试验期土壤水盐监测指标基本情况

监测指标	监测点深度/cm	监测日期(年-月-日)
土壤含水率	0,10,20,30,40,60,80,100	2015-11-29,2015-12-07,2016-01-20,2016-03-15,2016-04-05
土壤含盐量	0,10,20,30,40,60,80,100	2015-11-29,2015-12-07,2016-01-20,2016-03-15,2016-04-05

2 结果与分析

2.1 不同地表覆盖条件下土壤冻融过程时期划分

土壤水分运移与土壤温度相互影响,土壤温度决定土壤的冻融状态^[6],可见土壤含水量变化与土壤冻融状态密切相关。本文以土壤含水量的变化来界定整个季节性土壤冻融过程。

不同地表覆盖下土壤冻融过程的时期划分为冻结初期、稳定冻结期和融化期(表 2)。冻结初期,受近地面气温的影响,土壤表层发生“昼融夜冻”日循环,地表少部分积雪融化入渗。稳定冻结期,土壤自地表向下逐渐冻结直至达到最大冻结深度的过程中,冻土层和未冻土层之间出现较大温度梯度,在温度势的驱动下水分由高温势土层向低温势土层运移。融化期,土壤水受多方面因素的影响变化情况复杂。

表 2 不同地表覆盖下土壤冻融过程的时期划分

试验地类别	冻融时期(年-月-日)		
	冻结初期	稳定冻结期	融化期
秸秆覆盖	2015-11-29—2015-12-11	2015-12-12—2016-02-23	2016-02-24—2016-04-05
地膜覆盖	2015-11-29—2015-12-23	2015-12-24—2016-02-26	2016-02-27—2016-04-05
活性炭覆盖	2015-11-29—2015-12-09	2015-12-10—2016-02-29	2016-03-01—2016-04-05
裸地	2015-11-29—2015-12-07	2015-12-08—2016-02-17	2016-02-18—2016-04-05

2.2 不同地表覆盖下冻融土壤水分时空变化规律

经历冻结和消融过程,土壤含水量在时空上的变化必然会对春季作物种植所需水环境产生重要

一方面,由于气温急剧上升,致使积雪融化,融雪水下渗,与此同时土壤地表蒸发渐强,土壤水发生汽化进入到大气中;另一方面,土壤对太阳辐射能的吸收量增加,冻结土层开始解冻,解冻土层和未解冻土层间出现新的温度势、土水势,土壤水相对平衡分布的状态在新驱动力的作用下被破坏,被迫从高土水势向低土水势土层运移,最终再次达到相对动态平衡。可见,气温、土温、土壤水运移、融雪水下渗和地表蒸发等都是影响季节性冻融期土壤含水量变化的主要因子,各主要因子的影响程度不同,导致土壤含水量变化的幅度也不同。另外,由于地表秸秆、活性炭、地膜覆盖作为地-气系统中人为作用下的主要影响介质,对地-气热量传输、融雪水下渗量与速率、土水势、土壤水运移速率等不同时期产生的影响强度各不相同。

影响。因此,研究冻融期土壤水分的运移规律具有现实意义。冻融期间试验区土壤含水率的变化过程见图 2。

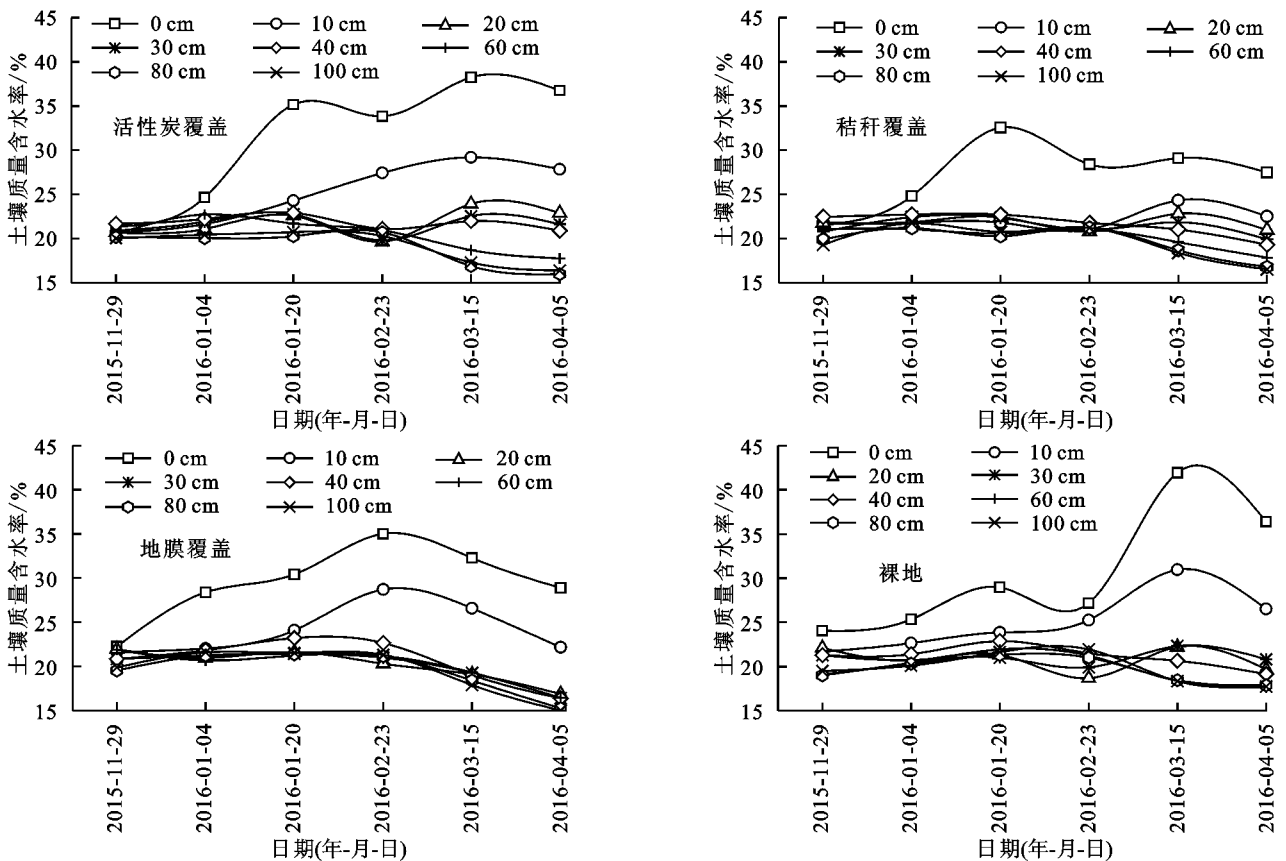


图 2 不同地表覆盖下土壤含水率的变化过程

冻结初期,出现“冻融循环”现象主要发生在浅层土壤,土壤水分也伴随着发生交替运移。但由于近地面气温波动幅度以及地表覆盖对地—气热量传输的影响不同,土壤水分上下交替迁移的程度也不尽相同。表 3 为 4 种试验处理下不同时期各个试验土层剖面上含水率的变化幅度(含水率变幅是通过在每一时期内同一土层含水率的末值和始值之差与始值的比值百分数计算得到的)。对测试数据分析发现,裸地和地膜、活性炭、秸秆

等覆盖 0—10 cm 土壤含水率相比 2015 年 11 月 29 日分别升高 4.20%,3.92%,1.32%,0.53%。而对于 20—100 cm 土层,除个别土层略升高外,其他土层基本上出现不同程度的下降(表 3)。这说明在“冻融循环”过程中冻结作用最终大于消融作用,呈现表层土壤含水量增加,深层土壤含水率降低的趋势。而地表覆盖能够平衡冻结—消融相互作用的程度,具有调节冻结初期土壤水分交替运移的作用。

表 3 不同时期各处理土壤含水率变化

处理类型	时期(年-月-日)	土壤含水率增幅/%							
		0 cm	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	60 cm	80 cm	100 cm
秸秆覆盖	2015-11-29—2015-12-11	0.41	0.12	-0.15	0.59	-0.16	-0.15	-0.04	-0.01
	2015-12-12—2016-02-23	4.12	1.53	0.92	0.37	0.84	0.60	0.96	0.58
	2016-02-24—2016-04-05	3.06	2.74	1.11	0.10	-2.28	-2.09	-2.17	-1.49
地膜覆盖	2015-11-29—2016-04-05	8.59	4.39	1.88	1.06	-1.60	-1.74	-1.25	-0.92
	2015-11-29—2015-12-23	2.60	1.20	-0.70	-0.68	0.53	-0.07	-0.01	-0.24
	2015-12-24—2016-02-20	5.95	4.62	0.71	0.14	0.19	0.27	0.89	0.49
活性炭覆盖	2016-02-21—2016-04-05	-3.92	-2.87	-2.57	-2.72	-4.53	-4.84	-5.01	-5.49
	2015-11-29—2016-04-05	4.63	2.95	-2.56	-2.18	-3.81	-4.64	-4.13	-5.24
	2015-11-29—2015-12-09	0.84	0.48	-0.08	0.18	0.04	-0.04	-0.03	-0.12
裸地	2015-12-10—2016-02-29	10.10	6.63	2.28	1.86	0.50	0.43	0.08	0.33
	2016-03-01—2016-04-05	5.91	1.41	1.24	0.62	0.35	-2.17	-3.37	-2.93
	2015-11-29—2016-04-05	16.85	8.52	3.24	2.66	0.89	-1.78	-3.29	-2.72
裸地	2015-11-29—2015-12-17	2.58	1.62	-1.07	-0.75	-0.15	-0.71	0.25	-0.20
	2015-12-18—2016-02-17	3.13	2.83	0.36	0.84	0.79	2.03	1.63	1.60
	2016-02-18—2016-04-05	3.16	1.61	0.8	0.93	-1.25	-2.08	-2.41	-2.54
	2015-11-29—2016-04-05	8.87	6.26	0.09	1.02	-0.61	-0.76	-0.53	-1.14

稳定冻结期,消融作用完全消失,土壤开始稳定冻结。受温度梯度作用的影响冻结锋面自地表不断下移,出现冻结层、似冻结层和非冻结层^[16],随时空变化其位置交替向下移动,而土壤水分运移则呈现出与其相反的运动状态,不断向似冻结层蓄积,这符合稳定冻结初期土壤水含量的实际变化情况,如图 2 所示,0 cm 土层,除了地膜覆盖含水率一直升高外,其他 3 种处理均发生先升高—后降低的现象,但升降时间和程度明显不同。裸地处理在 2016 年 1 月 16 日最先达到第 1 次极大值,秸秆、活性炭等覆盖出现该极大值的时间分别滞后于裸地 4,11 d,相对于各自稳定冻结期的始值含水率相应地升高 4.66%,9.18%,13.43%,此后出现下降,与极大值点含水率相比分别降低 2.69%,4.53%,1.63%。由此可见,随着积雪厚度的增大,积雪热容量增加,积雪—地表联合覆盖表现出的较强保温效应能够减缓土壤的冻结速率,使得土壤水分有较为充足的时间运移到似冻结层并冻结,地膜覆盖尤其显著,活性炭、秸秆覆盖次之。对于 10—60 cm 土层,4 种处理下不同土层含水率变化大致呈现 3 种态势,先小幅上升而后微幅降低、一直平缓上升或下降。而 80—100 cm 土层含水率基本上处于稳定不变状态。

由此可见,稳定冻结期土壤水分是循环运移、相互补给的,而温度梯度是其源动力,土层间的温度势强弱决定了土壤水分的迁移速度和运移量,进而不同程度地改变了各个土层的含水量。

到了融化期,随着近地面气温回升,一方面积雪开始融化,融雪水沿地表双向入渗,相应深度土壤含水量增加;另一方面地表蒸发强度增大,蒸发效应贯穿整个试验土层及其以下土层。结合表 3 和图 2 发现,地膜覆盖下土壤含水率自 2016 年 2 月 24 日开始一直下降,这是因为在地膜阻挡下融雪水不能沿地表入渗、同时产生蒸发失水所致。裸地处理在 2016 年 2 月 18 日积雪最先消融,秸秆、活性炭等覆盖处理下开始雪融的时间相比裸地分别滞后 6,12 d,土壤含水率上升到第 2 次极大值的时间相应地滞后 1,4 d。由此可知,受不同地表覆盖影响,在减缓融雪速率、提高融雪水入渗等效果上看是活性炭覆盖优于秸秆覆盖,裸地次之。从含水率变幅也可以看出,由表 3 可知,土壤含水率在 0—30 cm 土层的增幅以活性炭覆盖最大,依次为秸秆覆盖>裸地,分别增加 9.18%,7.01%,6.50%,对于 40 cm 土层,除了活性炭覆盖下土壤含水率出现增大(增幅为 0.35%)外,其余处理在 40 cm 及其以下土层均出现

降低现象。由此可见,活性炭、秸秆等覆盖处理使得融雪水入渗充分,保墒效果明显,而活性炭覆盖下的融雪水利用率更高、增墒效果更加显著。

综上所述可知,气温变化是引起土壤发生冻融的根源,地面—大气之间的热交换加剧了土壤温度不均匀分布的程度,致使土层间不断产生不同强度的温度势,使得土壤水分发生不同水平的运移,而地表覆盖能够减弱地面—大气之间的热量传输。气温降低时,地表覆盖抑制了近地面冷空气向土壤入侵,保温效应使得土壤冻结滞后、冻速减缓,似冻结土层水分含量得以大幅积蓄并冻结成固相冰,进而增大土壤空隙比表面积,为融化期容纳和保持更多的水分提供充裕的土壤空间;气温升高时,地表覆盖作为调节地—气之间热量交换的介质,减缓土壤解冻的同时也减弱了地表蒸发强度,有利于融雪水的充分入渗,提高土壤水分含量,起到增墒效果。

2.3 不同地表覆盖条件下冻融土壤盐分时空变化规律

为更直观地反映不同地表覆盖条件下整个冻融期土壤各土层含盐量的剖面分布变化情况,依据土壤溶液的含盐量和电导率之间的正相关关系^[17],对所监测的电导率数据进行含盐量的转化,将所得结果进行均值处理并绘制成图。

对流和弥散是土壤中盐分迁移的主要形式^[18]。在季节性冻融过程中,土壤盐分受温度势和含水量的影响,以溶液的形式做对流运动向似冻结层积聚;随着冻结锋面不断迁移,土壤盐分在不同浓度盐溶液交互扩散形成新浓度梯度的作用下不断做弥散运动^[17]。

由图3可以看出,冻结初期,裸地和地膜、活性炭、秸秆等覆盖下土壤盐分均呈现增大情形。对比2015年11月29日和2016年1月4日的监测数据发现,0—100 cm土层含盐量增幅分别为13.32%,12.82%,12.25%,7.36%,而含盐量增大现象主要发生在0—20 cm土层,相应地增大7.27%,5.71%,6.18%,3.63%,这说明土壤由初冻结进入稳定冻结的过渡期,受温度势和土水势的影响,土壤盐分随水一起向上运移,而地表覆盖能够减弱促使盐溶液向上运移的总势能,起到减小浅层土壤盐分聚集的效果。进入稳定冻结期,在溶液浓度梯度、温度梯度和水分不断运移的共同作用下,4种处理土壤的含盐量发生不同程度的增减。分析2016年1月4日至2016年2月23日的发现,30—40 cm土层盐分变化基本保持稳定,反而60 cm及其以下土层发生小幅降低,而10—20 cm土层则出现较大幅度的上升,尤以地膜、活性炭覆盖上升幅度明显,这符合“盐随水动”的基本理论,同时也说明土壤在逐渐稳定冻结的过程中水分向上补给量的多少决定了盐分在冻结层的积蓄程度,而冻结层以下

土壤盐分主要处于不断变化的相对动态平衡状态,作为盐分运输的通道起到补给作用。另外,0 cm土层除了地膜覆盖下土壤盐分持续增大外,裸地和秸秆、活性炭覆盖则出现先增大—后减小的现象,并且增减的跨度依次加大。这也和稳定冻结期土壤水分运移过程相吻合。这种独特现象究其原因,可能是随着冻结锋面持续下移,稳定冻结土层温度进一步降低,达到盐分的结晶冰点而从冰体中析出,透过冻结锋面运移到未冻结层积聚。由此可见,活性炭、秸秆等覆盖能够更有效地抑制地—气之间热量交换的程度,从而延长土壤似冻结层进入稳定冻结层的时间,盐溶液得以充分向似冻结土层运移;土壤达到稳定冻结时,在浓度梯度的作用下又会向未冻结土层运动。融化期4种处理下土壤盐分变化规律基本上一致。伴随着融雪水入渗和冻结土壤开始消融过程,均发生盐分降低,而0—30 cm土层表现出了较大的减小幅度,分析该时段的盐分数据可以看出,裸地和地膜、秸秆、活性炭等覆盖处理分别降低了9.15%,10.60%,16.88%,18.72%。之后受地表蒸发增强的影响,土壤盐分在运移过程中发生积聚,同时在双向融通的过程中,受温度梯度和浓度梯度的影响,盐分向上下两端运移,最终在双向消融交汇土层积聚。由此可见,融雪水入渗对浅层土壤盐分的淋洗效果明显,秸秆和活性炭覆盖的低导热率不仅有效抑制地表蒸发的强度,而且提高融雪水入渗量,增墒的同时又能够较大幅度地促进盐分淋洗,地膜覆盖阻隔了融雪水下渗,但隔温作用减弱了地表蒸发强度,从而降低盐分在浅层土壤积储。而活性炭对盐离子的强吸附性更使降盐效果显著,秸秆覆盖次之。

总体来看,经过积雪—地表覆盖和土壤冻融过程后,各深度土层的含盐量有增有减,0—30 cm土层的盐分变幅远大于深层土壤。而地表覆盖效应下0—30 cm土层的盐分平均增幅明显小于裸地至少9.00%。

2.4 地表覆盖条件下冻融土壤水盐的影响

为进一步揭示季节性冻融土壤水盐运移在空间上的变异强度和相互影响程度,对冻融过程中不同深度土壤水分、盐分的变异系数(CV)进行分析(图4)。变异系数作为衡量单位均值上离散程度的一种统计量,具有消除单位和(或)平均数不同对两个或多个因子变异程度比较产生影响的优点。CV<10%为弱变异性,CV在10%~100%之间为中等变异性,CV>100%为强变异性^[19]。

由前文分析可以看出,土壤水、盐运移密切相关,地表覆盖在一定程度上改变了土壤水盐的运移程度。但从整个冻融期比较不同剖面土壤水盐的变异系数(图4)发现,在0—10 cm土层,裸地处理水分变异系

数大于盐分变异系数,活性炭、地膜覆盖下水盐的变异系数几乎相同,均属于中等变异强度,而秸秆覆盖盐分变异系数却大于水分变异系数,可见,活性炭、地膜覆盖下调节水盐在该土层最终储存量的效果显著,秸秆覆盖盐分迁移程度大于水分。10—30 cm 土层,秸秆、地膜、活性炭覆盖变异性相对较小,并且呈递减

变化,到 30 cm 土层均属于弱变异强度。这说明地表覆盖能够减弱该土层水盐含量的离散程度。4 种处理下 40—100 cm 土层水盐的变异系数随深度增加出现较小的变异幅度,这说明在该土层水分和盐分的迁移程度均较小,且随着深度的增加地表覆盖对土壤水盐运移的作用力越来越小。

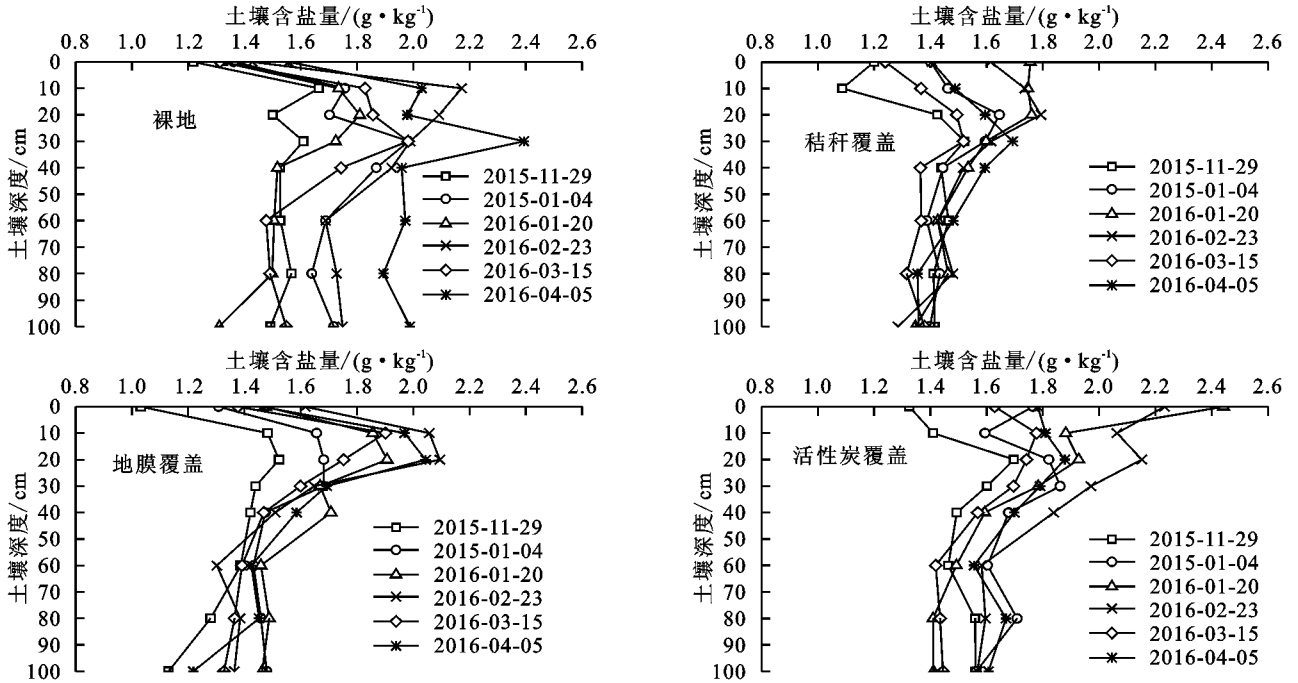


图 3 不同地表覆盖下土壤含盐量的剖面分布

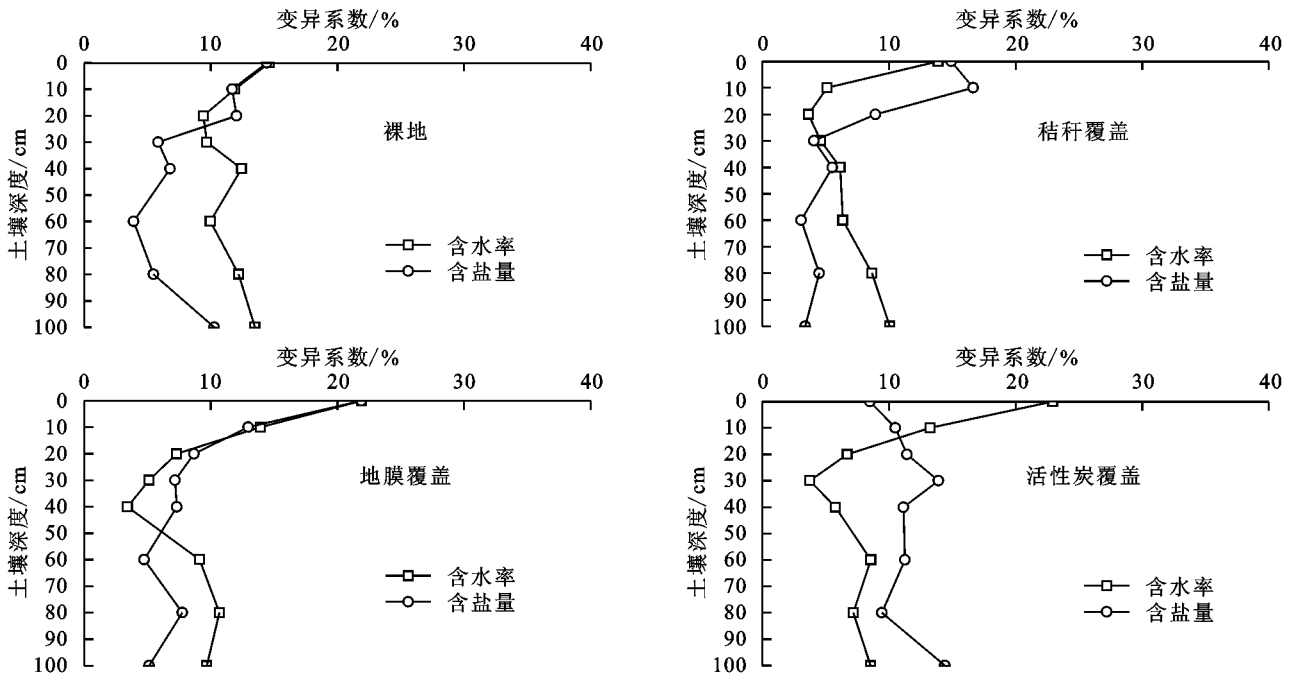


图 4 冻融期土壤剖面水盐变异系数变化特征

3 结论

(1) 地表覆盖减弱了地—气之间的热交换频率和强度,相对于裸地具有较好的保温效果,从而有效调控土壤水盐运移幅度,其影响程度随土壤深度的增加而减弱。秸秆和活性炭覆盖导热率较小、孔隙率相

对较高,使得融雪水充分入渗的同时也有效地减弱地表蒸发强度,增墒保墒和盐分淋洗效果显著。地膜覆盖阻隔融雪水下渗,但隔温作用抑制了地表蒸发,降低土壤盐分表聚。经历整个冻融期,活性炭覆盖 0—40 cm 土层含水量出现增幅,而秸秆和地膜覆盖、裸

地仅在 0—30 cm 土层含水量升高,活性炭覆盖下融雪水利用更高效,更有利于深层土壤水分的提高和保持。不同地表覆盖下浅层土壤盐分均出现积聚,0—30 cm 土壤含盐量增幅依次为裸地>地膜覆盖>秸秆覆盖>活性炭覆盖。活性炭和秸秆覆盖措施体现了较好的降盐效果。

(2)比较冻融期不同地表覆盖条件下土壤水分和盐分变异系数的变异强度可以看出,浅层土壤水分和盐分变异系数的变异性远大于深层土壤。4 种处理下整个试验土层水、盐变异性主要属于中等变异和弱变异,同一处理下土壤水盐的变异性变化基本上一致。

参考文献:

- [1] 姚宝林,李光永,王峰. 冻融期灌水和覆盖对南疆棉田水热盐的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(7): 114-120.
- [2] 李瑞平,史海滨,王长生,等. 秋灌定额对越冬期土壤水盐运移分布的影响[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(6): 43-46.
- [3] 彭振阳,黄介生,伍靖伟,等. 秋浇条件下季节性冻融土壤盐分运动规律[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 77-81.
- [4] 倪东宁,李瑞平,史海滨,等. 秋灌对冻融期土壤水盐热时空变化规律影响及灌水效果评价[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 141-145.
- [5] 刑述彦,郑秀清,陈军锋. 秸秆覆盖对冻融期土壤墒情影响试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(2): 90-94.
- [6] 付强,吴春东,李天霄. 北方高寒区秸秆覆盖量对土壤水分运移的影响[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(10): 7-10.
- [7] 白巴特尔,郑和祥,任杰,等. 寒旱区冻融期冬小麦不同覆盖条件土壤温度变化[J]. 水土保持研究, 2015, 22(6): 134-137.
- [8] Bing H, He P, Zhang Y. Cyclic freeze-thaw as a mechanism for water and salt migration in soil[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2015, 74(1): 675-681.
- [9] Nagare R M, Schincariol R A, Quinton W L, et al. Effects of freezing on soil temperature, freezing front propagation and moisture redistribution in peat: Laboratory investigations[J]. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2012, 2(16): 501-515.
- [10] Getachew A M, Hayashi M, Farrow Christopher R, et al. Improved characterization of frozen soil processes in the Versatile Soil Moisture Budget model[J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 2013, 4(93): 511-531.
- [11] 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.
- [12] 陈军锋,郑秀清,秦作栋,等. 冻融期秸秆覆盖量对土壤剖面水热时空变化的影响[J]. 农业工程学报, 2013, 29(20): 102-110.
- [13] 陈军锋,杨军耀,郑秀清,等. 地下水浅埋条件下单项冻结土壤水热变化试验[J]. 农业机械学报, 2014, 45(12): 146-152.
- [14] 李瑞平,史海滨,赤江刚夫,等. 季节性冻融土壤水盐动态预测 BP 网络模型研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(11): 125-128.
- [15] 李瑞平. 冻融土壤水热盐运移规律及其 SHAW 模型模拟研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2007.
- [16] 方汝林. 土壤冻结、消融期水盐动态的初步研究[J]. 土壤学报, 1982, 19(2): 164-172.
- [17] 刘小燕,刘巧玲,刘廷玺,等. 科尔沁草甸地冻融期土壤水热盐动态迁移规律[J]. 水科学进展, 2015, 26(3): 331-339.
- [18] 吴谋松,王康,谭霄,等. 土壤冻融过程中水流迁移特性及通量模拟[J]. 水科学进展, 2013, 24(4): 543-550.
- [19] 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.
- [13] Mubarak I. Temporal variability in soil hydraulic properties under drip irrigation. [J]. *Geoderma*, 2009, 150(1): 158-165.
- [14] Yan L, Wallach R, Cohen Y. The role of soil hydraulic conductivity on the spatial and temporal variation of root water uptake in drip-irrigated corn[J]. *Plant and Soil*, 2002, 243(2): 131-142.
- [15] Singh D K, Rajput T B S, Singh D K, et al. Simulation of soil wetting pattern with subsurface drip irrigation from line source[J]. *Agricultural Water Management*, 2006, 83(1/2): 130-134.
- [16] Lazarovitch N, Simunek J, Shani U. System dependent boundary condition for water flow from subsurface source [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2005, 69(1): 46-51.
- [17] Lazarovitch N, Shani U, Thompson T L, et al. Soil hydraulic properties affecting discharge uniformity of gravity-fed subsurface drip irrigation systems [J]. *ASCE, Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2006, 132(6): 531-536.
- [18] 王超,李援农. 地下滴灌条件下湿润体特性的试验研究[J]. 中国农村水利水电, 2011(3): 38-40.
- [19] 邵明安,王全九,黄明斌. 土壤物理学[M]. 北京:高等教育出版社, 2006.

(上接第 336 页)