

覆盖对盐渍土壤冻融特性与秋浇灌水质量的影响*

梁建财 史海滨 李瑞平 倪东宁 徐 昭 郑 倩

(内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018)

摘要: 在河套灌区进行不同覆盖措施秋浇田间冻融试验,研究其对盐渍土壤冻融特性及秋浇灌水质量的影响,试验设5个处理,分别为秸秆覆盖量 0.9kg/m² (F0.9)、秸秆覆盖量 0.6 kg/m² (F0.6)、玉米整秆覆盖(YZ)、地膜覆盖(DM)、未覆盖(CK)。研究表明:覆盖秋浇后,不同地面覆盖的输热能力对地层的响应应有着不同的影响,不同覆盖影响了土壤冻结融化推进过程,改变了土壤冻结深度对气温负积温的响应关系,通过初步确定冻结期冻土深度与负积温变化的定量关系,可用气温负积温来判断和预测冻结期内土壤冻结深度的变化。从冻融期结束后春玉米播期的土壤水、盐、热3方面综合考虑不同地面覆盖对秋浇灌水质量的影响,各覆盖处理均较CK显著提高了春玉米播期0~10、0~40和0~120 cm的土壤储水量,但覆盖使得土层0~20 cm土壤含水率偏高,不利于春玉米播种及出苗。覆盖处理均较CK显著降低了表层0~10 cm及耕层0~40 cm土壤含盐量,整秆覆盖YZ的控盐效果最好。地膜覆盖下春玉米的适宜播期较CK提前了7 d,而秸秆覆盖较CK延后了6~7 d。覆盖措施显著提高了玉米的出苗率,处理YZ与F0.9出苗率显著高于F0.6和DM。

关键词: 河套灌区 覆盖 冻融 秋浇 盐碱土 负积温

中图分类号: S152.7; S278 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)04-0098-08

Effect of Mulching on Salinized Soil Freezing and Thawing Characteristics and Autumn Irrigation Quality

Liang Jiancai Shi Haibin Li Ruiping Ni Dongning Xu Zhao Zheng Qian

(Water Conservancy and Civil Engineering College, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China)

Abstract: The objective of this paper is to discuss the effects of mulching methods on freezing and thawing characteristics of salinized soil and the autumn irrigation quality in cold – drought – salt irrigation district. The field freezing and thawing experiments were conducted with the mulched salinized soil in Hetao Irrigation District. The experiments included five treatments: chopped maize straw 0.9 kg/m² (F0.9), chopped maize straw 0.6 kg/m² (F0.6), whole maize straw (YZ), plastic film (DM) and no mulching (CK). The results showed that the heat transport capability of different soil layers was affected by surface mulching after autumn irrigation. Mulching affected the process of soil freezing and thawing and changed the response correlation of the soil frozen depth to the negative accumulated temperature. The soil frozen depth variability during the freezing period can be assessed and predicted by the available negative cumulative air temperature. Results revealed that all mulching treatments improved the soil water storage in the maize sowing time for following year at depth of 0~10, 0~40 and 0~120 cm significantly compared with CK. The soil salinity in the surface layer (0~10 cm) and plough layer (0~40 cm) was drastically lower than that of CK. The salt control effect of whole maize straw YZ was superior to the other treatments. The suitable sowing date of spring maize under plastic film mulching was advanced by 7 d

收稿日期: 2014-08-26 修回日期: 2014-09-06

* 国家自然科学基金资助项目(51369018)、教育部留学回国人员科研启动基金资助项目([2013]693)和“十二五”国家科技支撑计划重点资助项目(2011BAD29B03)

作者简介: 梁建财, 博士生, 主要从事节水灌溉新技术研究, E-mail: lj_c_2143@163.com

通讯作者: 李瑞平, 教授, 主要从事节水灌溉原理及技术研究, E-mail: nmglrp@163.com

relative to CK, while the straw mulched date was delayed by 6 ~ 7 d. Mulching measures improved the maize seedling emergence rate significantly, the emergence rate of maize of YZ and F0.9 were considerably higher than F0.6 and DM. The results could be used to guide the research of autumn irrigation scheduling under mulching situations in Hetao Irrigation District.

Key words: Hetao Irrigation District Mulching Freezing – thawing Autumn irrigation Saline – alkali soil Cumulated negative temperature

引言

秋浇是内蒙古河套灌区经多年生产实践总结形成的一种秋季储水灌溉方式,其作用是冲洗压盐和为翌年春播及作物苗期储存水分^[1]。秋浇后冻土水盐运动的特殊规律与分配特性是影响河套灌区土壤盐碱化发生、发展和演变的重要因素。合理的秋浇结合耕作、农艺等措施可防止春季返盐、干旱、潮塌、低温冷害等河套灌区农业生产中的主要灾害^[2]。

许多学者对河套灌区的秋浇问题开展了大量的研究工作^[3-8],但较少考虑地面覆盖因素对秋浇后春播作物的播种及苗期生长的水、盐、热环境的影响,不同地表覆盖对秋浇灌水质量的影响尚无相关的研究报道。

相关研究表明^[9-12]地面覆盖(秸秆覆盖和地膜覆盖)可以抑制土面蒸发,起到蓄水保墒、抑制盐分表聚的作用。在覆盖后秋浇,覆盖层改变了季节冻融土壤的冻融特性,陈军锋等^[13]进行了覆盖下冻融期内灌水对土壤冻融特性的影响研究,邢述彦等^[14]就秸秆覆盖对冻融期土壤墒情及冻融特性进行了试验研究。纪永福等^[15]针对河西走廊中部进行了解冻期麦草和沙子覆盖对土壤盐分和水分的影 响研究。覆盖对土壤冻融特性影响的相关研究,主要集中在非盐渍化灌区,到目前为止,在盐渍化的河套灌区尚无系统的研究成果。

本文拟在前人研究的基础上,在秋浇中结合覆盖措施,以无覆盖处理为对照,系统地研究不同秸秆覆盖和地膜覆盖模式对秋浇后盐渍化土壤的冻融特性及秋浇灌水质量的影响,以期为合理确定基于覆盖措施的秋浇灌溉制度提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在内蒙古河套灌区沙壕渠试验站节水灌溉研究基地进行。该试验基地位于内蒙古河套灌区中上游,研究区地处荒漠草原地带,属温带干旱气候,年平均气温 6.9℃,冬季严寒少雪,夏季高温干旱,年平均日照时数 3 189 h,年均降水量 142.1 mm,且

集中在 7—8 月间,年平均蒸发量 2 306.5 mm,蒸降比在 10 以上,11 月中下旬土壤开始冻结,冻土层厚度 0.8 ~ 1.3 m,3 月中旬冻土开始消融,5 月上、中旬冻土层全部消融,冻融历时 180 d 左右。

1.2 试验设计

试验在 2013 年 10 月—2014 年 5 月冻融期间进行,设 5 个处理,各处理 3 个重复,分别为秸秆覆盖量 0.9 kg/m² (F0.9)、秸秆覆盖量 0.6 kg/m² (F0.6)、玉米整秆覆盖(YZ)、地膜覆盖(DM)、未覆盖(CK),粉碎的玉米秸秆长 3 ~ 5 cm,整秆覆盖为相同耕地面积所产玉米秸秆的全部(52 500 株/hm²),采用 70 cm 宽的普通地膜,膜间距为 40 cm。小区尺寸 5 m × 8 m,小区四周埋防侧渗塑料布,埋深 1.2 m。试验区土壤质地为粉砂壤土,属硫酸盐-氯化物型盐土,供试土壤(0 ~ 40 cm)含盐量(质量比)平均为 2.27 g/kg, pH 值平均为 8.01。秋收翻地后,经平整、耙后,于 10 月 31 日覆秸秆及铺地膜。11 月 1 日用水泵抽水进行秋浇,秋浇定额 150 mm,秋浇灌溉水水质:电导率 EC 为 0.76 mS/cm, pH 值为 7.83。2014 年 4 月 27 日播种玉米,玉米品种为当地常规品种内单 314,在整个冻融期内共计降水 19.6 mm,试验期内地下水埋深平均为 1.56 m。不同覆盖对秋浇灌水过程的影响如下:秸秆覆盖处理的秸秆层对水流推进均有一定的阻滞作用,粉碎的玉米秸秆(长 3 ~ 5 cm)较短,自身质量小,有随水漂移、壅积现象发生,阻滞了水流推进。而整秆覆盖处理的秸秆,自身质量较大,不易漂移,对水流阻滞作用较小。地膜覆盖由于塑料薄膜减小了地表的糙率,且入渗界面较小,促进了水流推进。但在秋浇灌水过程中,由于小区长度较短,各处理灌水用时差别并不大。11 月 1 日秋浇后,因秋浇期间地下水位较高,灌溉水入渗缓慢而地表积水,11 月 13 日地表积水经下渗及蒸发而消退。

1.3 测试指标

用 HS-300 型动力取样器打孔测定冻土深度,同时取土样测定土壤含水率和电导率,取样层次为 9 层,0 ~ 5、5 ~ 10、10 ~ 15、15 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60、60 ~ 80、80 ~ 100、100 ~ 120 cm。用 HTR-8 型温度记录仪测定土壤温度,记录间隔为 60 min,探头埋设

层次同土壤含水率测定。在试验区布置 2 眼地下水观测井,每 7 d 记录一次水位,并同时取水样测定电导率,在玉米出苗后统计出苗率。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2007 制图及数据整理,SPSS 17.0 进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同地面覆盖处理的冻融过程

2.1.1 冻融期气温日变化

冻融期气温日变化如图 1 所示,10 月 24 日—11 月 15 日日最低气温在 0℃ 以下,但日平均气温在 0℃ 以上。11 月 16 日以后日平均气温稳定在 0℃ 以下,1 月 3 日气温达到最低,日最低气温为 -24.60℃。3 月 9 日后日平均气温稳定在 0℃ 以上。在整个冻融期内平均气温为 -0.88℃。在冻结期气温负积温为 -664.65℃·d,日平均气温小于等于 0℃ 持续日数 113 d。

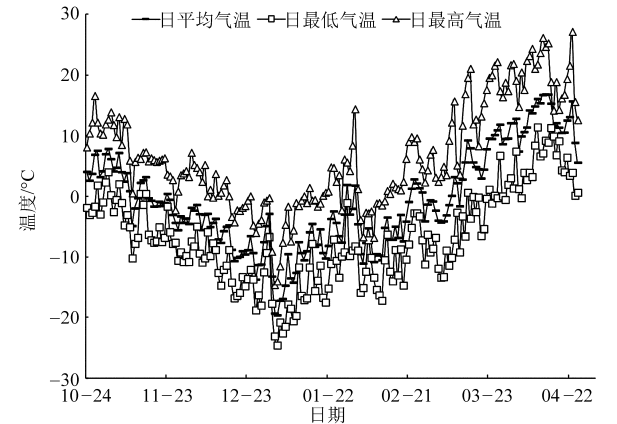


图 1 冻融期气温日变化

Fig. 1 Variation of air temperature during freezing and thawing period

2.1.2 不同处理的冻融过程

11 月 1 日秋浇后,随着气温下降,地表积水结冰而水面下地表并未冻结,11 月 14 日,地表积水全部下渗和蒸发,并开始从地表向下冻结。解冻过程从地表和下部冻层两个方向进行,双向消融。不同覆盖处理土壤冻融过程见表 1。

不同覆盖材料和覆盖厚度使得覆盖层具有不同的热传导能力,导致不同的覆盖处理具有不同的冻结和融化推进过程。秸秆覆盖处理的最大冻结深度比 CK 小 6~21 cm,初冻时间滞后 10~12 d, DM 最大冻结深度比 CK 小 26 cm,初冻时间滞后 14 d,这是由于覆盖层的绝热作用,减弱了与外界空气的热交换和各层土壤的热散失,较未覆盖有增温作用,使得其冻结深度小于 CK,冻结日期较 CK 延迟。处理

DM 的冻结深度小于秸秆覆盖处理,且初冻时间滞后,是由于在冻结期内地膜覆盖的增温效果要强于秸秆覆盖。

表 1 不同覆盖处理土壤冻融过程

Tab. 1 Freezing and thawing process of different treatments

处理	冻结日期	最大冻结深度/cm	地表开始消融日期	冻结层融通日期
F0.9	11 月 26 日	75	3 月 25 日	4 月 24 日
F0.6	11 月 24 日	90	3 月 21 日	4 月 25 日
YZ	11 月 26 日	90	3 月 21 日	4 月 23 日
DM	11 月 28 日	70	3 月 16 日	4 月 13 日
CK	11 月 14 日	96	3 月 10 日	4 月 19 日

进入 3 月中旬,太阳辐射增强、气温回升,秸秆覆盖处理地表开始消融,其消融日期较 CK 滞后 11~14 d,是由于秸秆覆盖层阻隔了土壤对太阳辐射热量的吸收,土壤温度回升较慢。地膜覆盖虽然由于薄膜的透光作用使得土壤可以有效吸收太阳辐射的热量,较未覆盖有增温作用,但由于 DM 的表层土壤含水率大于 CK,土壤热容量随含水率增加而线性增加,使得地温的升高慢于 CK,并且土壤的融化温度随含水率的增大而升高,因此地表开始消融的日期滞后 CK 6 d。

2.2 土壤冻结深度对气温负积温的响应关系

影响季节性冻土深度变化的因素十分复杂,除气温、地温外,还有土壤性质、土壤水盐状况、覆盖层以及太阳辐射等因素。许多研究表明,季节性冻土的冻土深度变化与气温负积温强度关系密切,气温负积温是引起土壤冻结的主要原因,高维跃等^[16]和康双阳等^[17]在河套灌区研究得出土壤冻结深度与气温负积温的平方根成正比。商思臣等^[18]在新疆阿勒泰山区布尔津河流域,指出冻土深度与气温负积温随时间的变化具有同步性,根据张山清等^[19]和白磊等^[20]的研究,土壤冻结深度与负积温具有很好的相关性。以上研究证实了通过气温负积温判断季节性冻土冻结进程的可行性。冻融期内不同处理土壤冻结深度与气温负积温变化曲线如图 2 所示。

可以看出在冻结期内冻结开始至达到最大冻深之前,冻结锋面的向下推进与气温负积温的累积过程有着很好的时间同步性,但在达到最大冻结深度之后及消融期间,冻结层下部深度随时间的变化与气温负积温的变化并不同步。冻结期内土壤冻结深度与气温负积温关系如图 3 所示。

为进一步明确冻结期冻土深度与负积温变化的定量关系,利用实测数据统计分析不同覆盖处理下土壤冻结深度与气温负积温的相关关系,拟合结果

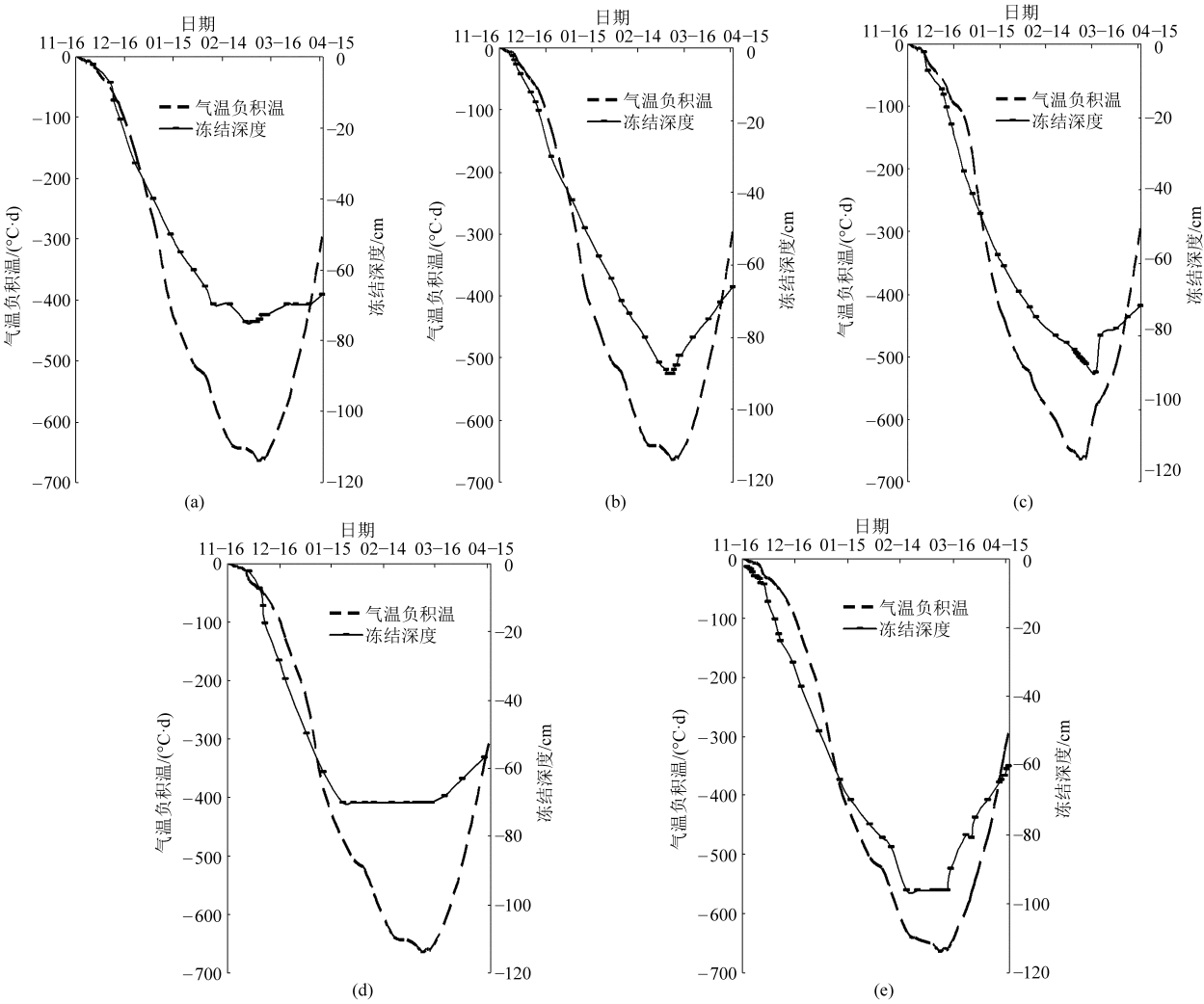


图 2 冻融期内土壤冻结深度与气温负积温变化

Fig. 2 Variations of cumulated negative air temperature and frozen soil depth during freezing and thawing period

(a) F0.9 (b) F0.6 (c) YZ (d) DM (e) CK

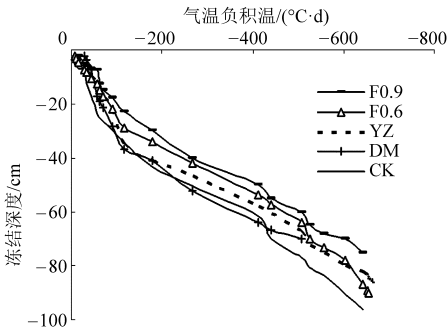


图 3 冻结期内土壤冻结深度与气温负积温关系

Fig. 3 Relationship of cumulated negative air temperature and frozen soil depth during freezing period

如表 2 所示。

在回归方程中,平方根项的系数为经验系数,表征除气温负积温外其他因素对冻结深度的影响,表示在一定的温度梯度下土壤的冻结速度。由于回归所用实测数据为冻结期内,气温负积温及冻结深度达到最大值之前的土壤冻结深度与气温负积温,因此 在各处理拟合关系式中,需同时满足: $-\max |x| \leq x \leq$

$0, 0 < Y \leq \max(Y)$ 。根据各处理冻结深度观测值和回归方程模拟值的比较分析,调整率定平方根项中的常数项参数(修正值),使模拟值和观测值尽可能吻合,平均相对误差 MRE 小于 10%。

表 2 冻结期内土壤冻结深度与气温负积温的拟合关系式
Tab. 2 Fitting equation of cumulated negative air temperature and frozen soil depth

处理	拟合关系式	R^2
秸秆覆盖 F0.9	$Y = 3.46(-x + 7.62)^{1/2} - 16.56$	0.995 0
秸秆覆盖 F0.6	$Y = 3.66(-x + 1.10)^{1/2} - 12.65$	0.987 9
玉米整秆覆盖 YZ	$Y = 3.91(-x + 4.21)^{1/2} - 15.71$	0.992 6
地膜覆盖 DM	$Y = 3.99(-x - 1)^{1/2} - 14.48$	0.990 0
未覆盖 CK	$Y = 3.99(-x + 6.10)^{1/2} - 10.24$	0.997 1

注:Y 为冻结深度,cm;x 为气温负积温, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$; R^2 为决定系数。

由各处理平方根项系数的相对大小,可以进行各处理冻土深度对负积温变化的响应敏感性比较,一般为 $F0.9 < F0.6 < YZ < DM < CK$,秸秆覆盖处理敏感程度相对较低,且覆盖量越大,敏感性越低,其

原因很可能是秸秆覆盖层所具有的低导热性和覆盖层的存在减小和缓冲了气温降低对土层热状况的影响。实测气象数据较容易获得,因此在冻结期内,可用气温负积温的累积过程来判断和预测土壤冻结深度的变化过程。

2.3 覆盖秋浇灌水质量分析

在相关研究中^[8,21],评价畦田灌水质量的指标通常包括灌水效率和灌水均匀度。河套灌区特有的气候和农业生产条件,决定了灌区秋浇的两大目标,即为翌年春小麦、玉米播种和幼苗期生长贮墒及淋洗耕层盐分^[1],而在春播作物的播期,低温冷害同样影响着农业生产。季节性冻融土壤水、盐、热三者的迁移具有耦合关系,地温的变化会引起土壤中固相、液相水分比例的变化,进而引起水、盐的迁移。地表覆盖会对冻融期土壤墒情、含盐量、地温的变化产生影响,以下主要通过对冻融期结束后(春玉米

播期)的土壤水、盐、热 3 个指标进行分析,来评价不同覆盖对秋浇灌水质量的影响效果。

2.3.1 不同覆盖对玉米播期土壤墒情的影响

经过一个冻融循环后,各处理对玉米播期(4月24日)0~120 cm 土层储水量影响如表 3 所示,在 0~120 cm 土层内采取覆盖措施与否,经过秋浇后,各处理均显著增加了各层土壤储水量。秸秆覆盖处理 F0.9 在经过一个冻融期后有较好的储水保墒效果,使玉米播期 0~10、0~40 和 0~120 cm 土壤储水量较 CK 分别提高了 46.11%、15.39%、12.11%。处理 F0.6 与 YZ 除 0~40 cm 外,各层储水量相近,无显著性差异。DM 处理在各层储水效果弱于秸秆覆盖各处理。在试验区,6 月下旬灌玉米第一水,在播种至第一水之间,地下水位持续降低,地表蒸发强烈,在 0~120 cm 土层内保持适当的土壤水分可保证幼苗及拔节前期玉米的正常生长。

表 3 翌年玉米播期土壤储水量
Tab.3 Soil water storage of different treatments at maize sowing time of the following year mm

土层深度/cm	秋浇前	处理				
		F0.9	F0.6	YZ	DM	CK
0~10	24.92 ^a	42.62 ^b	39.48 ^c	38.38 ^{cd}	36.72 ^d	29.17 ^e
0~40	136.44 ^a	180.13 ^b	172.64 ^c	166.03 ^d	164.01 ^d	156.10 ^e
40~120	245.89 ^a	378.18 ^b	367.32 ^c	372.96 ^{bc}	345.35 ^d	341.88 ^d
0~120	382.32 ^a	558.31 ^b	539.95 ^c	538.99 ^c	509.36 ^d	497.99 ^e

注:同行数值后不同字母表示不同处理在 $P<0.05$ 水平差异显著。

在 0~20 cm 土层,处理 F0.9、F0.6、YZ、DM、CK 在玉米播期土壤含水率依次为:28.38%、26.62%、25.44%、25.26%、21.71%。试验地 0~20 cm 平均田间持水率 θ_{fc} 为 24%,CK 含水率低于 θ_{fc} ,覆盖处理 F0.9、F0.6、YZ、DM 的含水率均高于 θ_{fc} 。农田土壤适宜的含水率决定于作物生长的需求,根据侯玉虹等^[22]的研究结论,对于壤土,利于玉米出苗及苗期生长的适宜底墒范围为 19%~22%,在 4 月 24 日,CK 可认为能满足玉米发芽的土壤水分需求,而覆盖处理 F0.9、F0.6、YZ、DM 则需待 0~20 cm 土层中的超量水下渗或蒸发散失后,使其土壤含水率达到适宜播种的要求,从而使得玉米适宜播期延后。因此,当在秋浇结合覆盖措施时,可考虑将秋浇时间提前,或适当降低秋浇灌水定额,即采用覆盖后秋浇具有一定的节水空间。

2.3.2 翌年玉米播期土壤剖面盐分分布

翌年玉米播期(4月24日)土壤剖面盐分分布如图 4 所示。覆盖秋浇后,经过一个冻融循环期,经过淋洗脱盐,冻结期积盐、春季返盐等过程,土壤剖面盐分较秋浇前进行了重新分布。在秋浇前,盐分主要集中在耕层 0~40 cm 深度内,平均含盐量达到

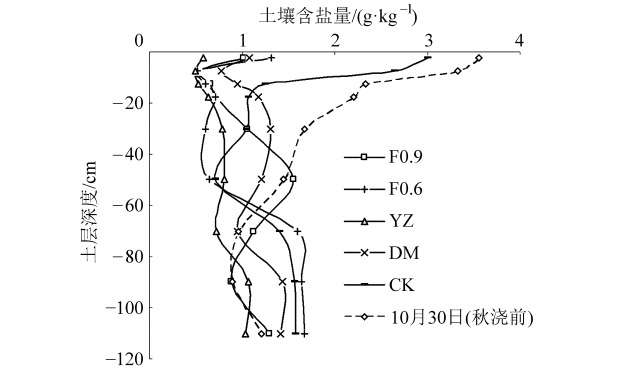


图 4 翌年玉米播期土壤剖面盐分分布
Fig.4 Profile distribution of soil salt at maize sowing time of the following year

2.27 g/kg,地表含盐量达到 3.44 g/kg,盐分表聚严重,耕层以下土层含盐量较小。而在翌年玉米播期,土壤盐分剖面分布改变明显,CK 的 0~20 cm 土层含盐量在 1.07~3.00 g/kg 之间,盐分表聚特征明显,而各覆盖处理在 0~20 cm 土层含盐量在 0.50~1.31 g/kg 之间,抑制了盐分的表聚。20 cm 以下土层,各覆盖处理土壤含盐量变化整体趋势为随深度增加而递增。CK 在 40~60 cm 处为含盐量低值区,最低值为 0.72 g/kg,在 60 cm 以下土层土壤含盐量

随深度增加而递增。

在土壤表层 0 ~ 10 cm, 处理 F0.9、F0.6、YZ、DM、CK 在玉米播期的含盐量分别为: 0.78、0.92、0.54、0.93、2.83 g/kg。处理 YZ 含盐量最低, 较 CK 降低了 80.92%, 覆盖处理 F0.9、F0.6、YZ、DM 土壤含盐量均小于 1.00 g/kg, 为玉米种子的萌发提供了一个含盐量相对淡化的环境。

定义冻融期结束(玉米播期)后土壤含盐量与秋浇前土壤含盐量的差值与秋浇前土壤含盐量的比值为土壤积盐率。在土壤表层 0 ~ 10 cm, F0.9、F0.6、YZ、DM、CK 的积盐率依次为: -77.45%、-73.35%、-84.20%、-73.05%、-17.95%。各处理均呈脱盐状态, 覆盖处理的脱盐效果均显著强于 CK, 处理 YZ 控盐效果最好, 而在不同秸秆覆盖处理间, 对土壤表层的抑盐效果相比较, YZ > F0.9 > F0.6, 处理 F0.6 与 DM 差异不显著。这是由于覆盖抑制了地表蒸发, 减弱了盐分的表聚。

在土壤耕层 0 ~ 40 cm, 处理 F0.9、F0.6、YZ、DM、CK 在玉米播期的含盐量分别为: 0.90、0.70、0.68、1.15、1.52 g/kg。各覆盖处理均较 CK 的耕层含盐量低, 其中, 处理 F0.6、YZ 含盐量最低, 较 CK 降低了 53.95% 和 55.26%。根据试验区灌溉制度, 6 月下旬灌玉米第一水, 在播种至第一水之间, 蒸发强烈, 土壤返盐, 此外玉米苗期耐盐性较弱, 耕层过多的土壤盐分抑制幼苗的正常生长, 对后期植株的发育及产量形成都有影响。因此通过覆盖抑制蒸发作用, 可以保证玉米播种及苗期土壤耕层 0 ~ 40 cm 盐分含量在较低的水平。

土壤耕层 0 ~ 40 cm 深度内的含盐量均值, 在玉米播前较秋浇前, 各处理 F0.9、F0.6、YZ、DM、CK 的积盐率依次为: -60.51%、-69.33%、-70.13%、-49.29%、-32.92%。各处理均呈脱盐状态, 覆盖处理积盐率与 CK 积盐率差距减小。在覆盖处理之间, 处理 F0.6、YZ 的脱盐效果相近, 均强于其余覆盖处理, 较好地抑制了耕层积盐。覆盖改善了玉米根系生长环境, 增强了玉米对盐分胁迫的生态适应性。

在耕层以下土层 40 ~ 120 cm 范围内, 平均含盐量在 0.91 ~ 1.39 g/kg 之间, 除 YZ 外, 其余处理较秋浇前积盐。

2.3.3 覆盖秋浇对玉米播期地温的影响

5 ~ 10 cm 土层为玉米种子发芽床, 如果芽床温度过低, 种子容易粉淡、霉烂不发芽。因此用 7.5 cm 处地温来表征玉米播层的热环境, 玉米播期气温和地温日变化如图 5 所示, 在 2014 年 4 月 20 日 ~ 5 月 10 日期间, 日平均气温在 5.58 ~ 18.40℃ 之间, 气温 4

月下旬至 5 月上旬连续偏低, 4 月 24 日 ~ 4 月 26 日、5 月 3 日 - 5 月 4 日、5 月 9 日日均气温均在 10℃ 以下, 其中 4 月 26 日出现极端最低气温 -1.4℃, 出现了春季低温冷害。

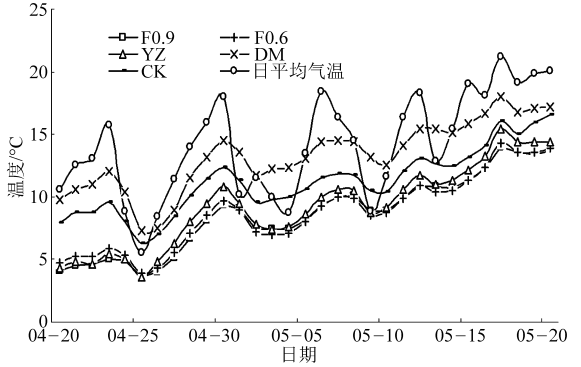


图 5 玉米播期气温和地温日变化
Fig.5 Variation of air temperature and ground temperature at maize sowing time of the following year

在试验区当地常规玉米播期为 4 月下旬, 杨松等^[23]指出, 一般以 5 ~ 10 cm 地温稳定通过 10℃ 初日的前 3 ~ 5 d 作为适宜播种期的开始。按照此标准, DM 适宜播期是 4 月 23 日, CK 是 4 月 30 日, YZ 是 5 月 6 日, F0.9、F0.6 是 5 月 7 日, 地膜覆盖的适宜播期较 CK 提前 7 d, 而秸秆覆盖处理的适宜播期较 CK 延后 6 ~ 7 d。在气温回升阶段, 地膜覆盖由于薄膜的透光作用使得土壤可以有效吸收太阳辐射的热量, 较未覆盖有增温作用, 而秸秆覆盖由于秸秆覆盖层阻隔了土壤对太阳辐射热量的吸收, 较未覆盖降低了土壤温度。

2.4 翌年玉米出苗对覆盖秋浇的响应关系

在本试验中, 为了统一田间管理, 所有处理均统一在 4 月 27 日播种。地膜覆盖使得土壤可有效蓄积太阳辐射热, 保温效果明显, 克服了低温冷害, 比其余处理提前 10 d 出苗。水盐胁迫和低温是盐碱地玉米种子萌发的主要障碍因素, 播种 23 d 后, 玉米出苗率调查结果如图 6 所示, YZ 出苗率最高为 92.28%, 4 个覆盖处理的出苗率均显著高于未覆盖处理, 各覆盖处理之间, YZ 与 F0.9 显著高于 F0.6、DM, YZ 与 F0.9 无显著性差异。处理 YZ、F0.9、F0.6、DM 的出苗率比 CK 分别提高了 37.85%、35.53%、30.11%、23.24%。不同覆盖处理间出苗率有差异, 这是由于玉米播种时, 各覆盖处理土壤表层 0 ~ 10 cm 的土壤含盐量相比较, YZ < F0.9 < F0.6 < DM, 盐分胁迫的程度不同造成了出苗率的差异。

3 讨论

秸秆覆盖层是减缓土壤与大气热交换的一种介

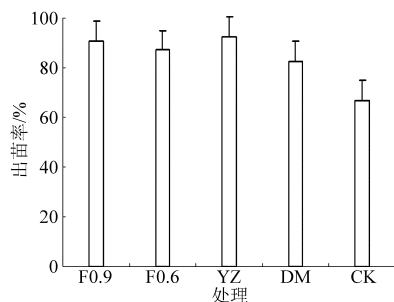


图6 玉米出苗率

Fig.6 Emergence rate of maize

质,对于热量双向运动都有一定的阻碍作用,使得秸秆覆盖处理土壤温度总是滞后于未覆盖地土壤温度^[24]。在气温回升阶段,秸秆覆盖层使春季地温升温缓慢而不利于春播作物播种和出苗,体现了秸秆覆盖的负效应,而地膜覆盖则较未覆盖有增温作用。

在河套灌区未覆盖秋浇的相关研究中,已定量得出了不同盐渍化程度土壤的秋浇灌溉制度。在覆盖后秋浇,覆盖层改变了季节冻融土壤的冻融特性,改变了春播作物的播种及苗期生长的水、盐、热环境,本研究结论是在单一秋浇时间和单一秋浇定额下得到的,而针对在覆盖条件下的秋浇灌水时间及灌水定额的研究,有待今后进一步开展。

河套灌区大田主要灌溉方式为畦灌,畦田规格、地面坡度及平整度等技术要素对秸秆覆盖灌水效率与灌水均匀度有显著影响,需要考虑秸秆覆盖层增加了地面水流推进的阻力,同时又要防止秸秆被冲刷,因此针对不同质地土壤合理的确定以上技术要

素非常重要。而在河套灌区,秸秆覆盖后针对不同质地土壤的秋浇灌水技术参数的相关研究成果缺乏,后续有必要开展相关研究,以指导灌区农业生产。

4 结论

(1) 不同地面覆盖的输热能力对地层的热响应有着不同的影响,不同覆盖层改变了土壤冻融推进过程,改变了土壤冻结深度对气温负积温的响应关系。通过初步研究确定冻结期冻土深度与负积温变化的定量关系,可用气温负积温的累积过程来判断和预测冻结期内土壤冻结深度的变化。

(2) 综合考虑不同覆盖方式对秋浇灌水质量的影响:秸秆覆盖处理 F0.9 的储水保墒效果最好,使玉米播期 0~10、0~40 和 0~120 cm 土壤储水量较 CK 分别提高了 46.11%、15.39%、12.11%。覆盖处理使得土层 0~20 cm 土壤含水率偏高,而使春玉米适宜播期延迟;覆盖处理均较 CK 显著降低了表层 0~10 cm 及耕层 0~40 cm 土壤含盐量,秸秆覆盖处理抑盐效果好于地膜覆盖,整秆覆盖 YZ 的抑盐效果最好;在消融后的气温回升阶段,地膜覆盖较 CK 增加了土壤温度,秸秆覆盖较 CK 降温。地膜覆盖下春玉米的适宜播期较 CK 提前了 7 d,而秸秆覆盖较 CK 延后了 6~7 d。

(3) 玉米出苗时间和出苗率对覆盖秋浇有明显的响应关系,覆盖措施显著提高了玉米的出苗率,处理 YZ 与 F0.9 出苗率显著高于 F0.6、DM。

参 考 文 献

- 王伦平,陈亚新,曹国芳,等. 内蒙古河套灌区灌溉排水与盐碱化防治[M]. 北京:中国水利水电出版社,1993.
- 杨松,秦晓燕,刘俊林,等. 河套灌区农业生产中几种主要灾害及其减灾对策[J]. 中国农业气象,2005,26(1):61-63.
Yang Song, Qin Xiaoyan, Liu Junlin, et al. Main disasters in agricultural production in Hetao Irrigation Area and its countermeasures [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2005, 26(1): 61-63. (in Chinese)
- 郭素珍. 内蒙古河套灌区秋浇时间对水盐运移和农业环境的影响[J]. 中国农业大学学报,1997,2(增刊1):147-150.
Guo Suzhen. Influence of autumn irrigation time upon moisture-salt movement and agricultural environment in Hetao Irrigation Area of Inner Mongolia [J]. Journal of China Agricultural University, 1997, 2(Sup. 1): 147-150. (in Chinese)
- 李瑞平,史海滨,赤江刚夫,等. 基于 SHAW 模型的内蒙古河套灌区秋浇节水灌溉制度[J]. 农业工程学报,2010,26(2):31-36.
Li Ruiping, Shi Haibin, Takeo Akai, et al. Scheme of water saving irrigation in autumn based on SHAW model in Inner Mongolia Hetao irrigation district [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(2): 31-36. (in Chinese)
- 李瑞平,史海滨,赤江刚夫,等. 基于水热耦合模型的干旱寒冷地区冻融土壤水热盐运移规律研究[J]. 水利学报,2009,40(4):403-412.
Li Ruiping, Shi Haibin, Takeo Akai, et al. Study on water-heat-salt transfer in soil freezing-thawing based on simultaneous heat and water model [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2009, 40(4): 403-412. (in Chinese)
- 孟春红,杨金忠. 河套灌区秋浇定额合理优选的试验研究[J]. 中国农村水利水电,2002(5):23-26.
Meng Chunhong, Yang Jinzhong. Experimental research on the rational selection of autumn irrigation norm in Hetao Irrigation District [J]. China Rural Water and Hydropower, 2002(5): 23-26. (in Chinese)
- 郑和祥,李和平,郭克贞,等. 河套灌区冬小麦冻结期土壤入渗特性分析[J]. 农业工程学报,2014,30(4):70-78.
Zheng Hexiang, Li Heping, Guo Kezhen, et al. Soil infiltration characteristics of winter wheat field during freezing in Hetao Irrigation District [J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(4): 70-78. (in Chinese)

- 8 徐睿智,魏占民,夏玉红,等. 激光精细平地对畦田灌水质量的影响及节水效果分析[J]. 灌溉排水学报,2012,31(2):6-9.
Xu Ruizhi, Wei Zhanmin, Xia Yuhong, et al. Effect of laser precision land leveling on border irrigation and its water saving performance[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2012, 31(2):6-9. (in Chinese)
- 9 方文松,朱自玺,刘荣花,等. 秸秆覆盖农田的小气候特征和增产机理研究[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(6):123-128.
Fang Wensong, Zhu Zixi, Liu Ronghua, et al. Study on microclimate characters and yield-increasing mechanism in straw mulching field[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2009, 27(6):123-128. (in Chinese)
- 10 Ji S N, Unger P W. Soil water accumulation under different precipitation, potential evaporation, and straw mulch conditions[J]. Soil Science Society of America Journal, 2001, 65:442-448.
- 11 张建兵,杨劲松,姚荣江,等. 有机肥与覆盖方式对滩涂围垦农田水盐与作物产量的影响[J]. 农业工程学报,2013, 29(15):116-125.
Zhang Jianbing, Yang Jingsong, Yao Rongjiang, et al. Dynamics of soil water, salt and crop growth under farmyard manure and mulching in coastal tidal flat soil of northern Jiangsu Province [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(15):116-125. (in Chinese)
- 12 Sauer T J, Hatfield J L, Prueger J H. Corn residue age and placement effects on evaporation and thermal regime [J]. Soil Science Society of America Journal, 1996, 60(5):1558-1564.
- 13 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)
- 14 邢述彦,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.
Xing Shuyan, Zheng Xiuqing, Chen Junfeng. Experimental study on effect of corn residue management on soil water content during freezing-thawing period[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(2):90-94. (in Chinese)
- 15 纪永福,蔺海明,杨自辉,等. 解冻期覆盖盐渍土地表对土壤盐分和水分的影響[J]. 干旱区研究,2005,22(1):17-23.
Ji Yongfu, Lin Haiming, Yang Zihui, et al. Study on the effects of land cover on salt content and moisture content in saline or alkaline soil during thawing[J]. Arid Zone Research, 2005, 22(1):17-23. (in Chinese)
- 16 高维跃,康双阳,王凤娥. 冻融土水盐运动规律的测试与分析[J]. 内蒙古农牧学院学报:自然科学版,1987,8(3):84-88.
Gao Weiyao, Kang Shuangyang, Wang Feng'e. Test and analysis of water-salt movement in freezing-thawing soil[J]. Journal of Inner Mongolia Institute of Agriculture & Animal Husbandry, 1987, 8(3):84-88. (in Chinese)
- 17 康双阳,高维跃,王凤娥. 内蒙古河套灌区冻融土水盐运动规律的测试与分析[J]. 人民黄河,1987(5):45-49.
Kang Shuangyang, Gao Weiyao, Wang Feng'e. Regularity of water and salt movement in soil in Hetao Irrigated Region, Inner Mongolia, during-melting period[J]. Yellow River, 1987(5):45-49. (in Chinese)
- 18 商思臣. 新疆布尔津河流域冻土深度随气温变化研究[C]//中国水文科技新发展——2012 中国水文学术讨论会,2012.
- 19 张山清,普宗朝,李景林,等. 1961—2010 年新疆季节性最大冻土深度对冬季负积温的响应[J]. 冰川冻土,2013, 35(6):1419-1427.
Zhang Shanqing, Pu Zongchao, Li Jinglin, et al. Response of the maximum depth of seasonal freezing to the cumulated negative temperature in Xinjiang[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(6):1419-1427. (in Chinese)
- 20 白磊,李兰海,李倩,等. 新疆北疆地区季节性冻土结冻过程与日积温的关系[J]. 冰川冻土,2012,34(2):328-335.
Bai Lei, Li Lanhai, Li Qian, et al. Relationship between soil's seasonal freezing process and daily accumulative hourly temperature in northern Xinjiang region[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2012, 34(2):328-335. (in Chinese)
- 21 吕雯,汪有科,许晓平. 秸秆覆盖畦田灌溉水流特性及灌水质量分析[J]. 水土保持研究,2007,14(2):236-238.
Lü Wen, Wang Youke, Xu Xiaoping. Analysis of water flow performance and irrigation efficiency of border irrigation under straw mulch[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14(2):236-238. (in Chinese)
- 22 侯玉虹,尹光华,刘作新,等. 土壤含水量对玉米出苗率及苗期生长的影响[J]. 安徽农学通报,2007, 13(1):70-73.
Hou Yuhong, Yin Guanghua, Liu Zuoxin, et al. Effects of soil water contents on seedlings emergence rate and seeding growth of maize[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2007, 13(1):70-73. (in Chinese)
- 23 杨松,刘俊林,陶娜,等. 河套灌区春玉米农业气候条件分析及适生种植区划[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(2):98-101.
Yang Song, Liu Junlin, Tao Na, et al. Analysis of agricultural climate condition for corn and its suitable growing areas in Hetao [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2008, 26(2):98-101. (in Chinese)
- 24 付强,马梓稔,李天霄,等. 北方高寒区不同覆盖条件下土壤温度差异性分析[J]. 农业机械学报,2014,45(12):152-159.
Fu Qiang, Ma Zhiran, Li Tianxiao, et al. Variability of soil temperature under different coverage conditions in alpine region of China [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(12):152-159. (in Chinese)