

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.03.031

不同改良措施对盐渍化土壤水热碳与葵花产量的影响

屈忠义¹ 胡敏¹ 王丽萍¹ 丁艳宏² 高晓瑜¹

(1. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018; 2. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 为探明不同改良措施对盐渍化土壤水热碳及葵花产量的影响, 设置了施加生物炭(C, 22.5 t/hm²)、脱硫石膏(S, 37.5 t/hm²)、秸秆还田(J, 20.625 t/hm²)和对照(CK)4个处理, 进行大田试验。结果表明: 3种改良措施均能改善土壤水热环境, 其中生物炭更具优势。3种改良处理在整个生育期内0~20 cm和20~40 cm土层的土壤含水率显著高于对照; 在垂直分布上表现出0~40 cm土层各改良措施保水、蓄水作用的效果优于40 cm以下土层, 各处理剖面土壤水分空间分布格局均表现出下湿、上干的特点。与CK相比, 各改良处理体现出良好的增温、保温效果, 均表现出低温时具有“增温效应”、高温时具有“降温效应”, 且对温度的调控作用主要集中在5~25 cm土层, 从35 cm处开始影响减弱。采取3种改良措施均能增加土壤有机碳含量和有机碳密度, 其中施加生物炭效果最显著, 有机碳密度较对照增加了17.46%。与对照相比, C处理的葵花产量增产率最高, 达32.28%, J、S处理产量分别增加21.94%、30.68%, 三者差异不显著。综合分析得出, 施加生物炭22.5 t/hm²为适宜于河套灌区盐渍化农田种植葵花过程中的土壤改良处理。

关键词: 葵花; 盐渍土; 水热条件; 有机碳; 产量; 改良措施

中图分类号: S156.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2020)03-0268-08

OSID:



Effects of Different Improvement Measures on Hydrothermal Carbon and Sunflower Yield in Salinized Soil

QU Zhongyi¹ HU Min¹ WANG Liping¹ DING Yanhong² GAO Xiaoyu¹

(1. Water Conservancy and Civil Engineering College, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China
2. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Aiming to explore the effects of different improvement measures on hydrothermal carbon and sunflower yield in salinized soil, experiment was carried out by applying biochar (C, 22.5 t/hm²), desulfurization gypsum (S, 37.5 t/hm²), straw returning (J, 20.625 t/hm²) and control (CK) in field. The results showed that three improvement measures can improve the soil hydrothermal environment, of which biochar had advantages. The soil moisture content of the soil layers of 0~20 cm and 20~40 cm during the whole growth period was significantly higher than that of the control. In the vertical distribution, the improvement effect of water conservation and water storage of 0~40 cm soil layer was better than that of soil layer below 40 cm. The spatial distribution pattern of soil moisture in each treatment section showed the characteristics of wet and dry. Compared with CK, each improved treatment had good temperature increase and heat preservation effect, both of which had “warming effect” at low temperatures, and “cooling effect” at high temperatures, and the regulation of temperature was mainly concentrated at 5~25 cm soil layer, and weakened from 35 cm. The application of three improvement measures can increase the soil organic carbon content and organic carbon density, among which the biochar effect was the most significant, and the organic carbon content was increased by 17.46% compared with the control. Compared with the control, the yield of C treatment was the highest, reached 32.28%, and the yield of J and S treatment was increased by 21.94% and 30.68%, respectively. The difference between the three was not significant. According to comprehensive analysis, the application of biochar of 22.5 t/hm² was more suitable for soil improvement in the process of planting sunflower in salinized farmland in Hetao Irrigation District.

Key words: sunflower; saline soil; hydrothermal conditions; organic carbon; yield; improvement measures

收稿日期: 2019-07-27 修回日期: 2019-08-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(51779117, 51769022, 51809142)

作者简介: 屈忠义(1969—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事节水理论与农田水土环境效应研究, E-mail: quzhongyi@imau.edu.cn

0 引言

内蒙古河套灌区是黄河流域最大的灌区,是我国3个特大型灌区之一,也是我国重要的粮油生产基地。该地区气候干燥、降水稀少、蒸发量大,且水土流失较为严重。灌溉主要以引黄漫灌为主,排水不畅和渠道渗漏使得灌区地下水位抬高,导致土壤盐渍化较为严重^[1]。土壤盐渍化导致农田土壤保水、保肥能力和农业生产能力不断降低,严重制约着河套灌区农业的可持续发展。因此,亟需通过施加适当的土壤改良产品来蓄水保墒、保肥。

近年来,关于不同改良产品对盐渍化土壤改良效应的研究受到广泛关注^[2-3]。如生物炭含有有机碳,具有多孔隙结构和较大的表面积^[4],施入土壤后可有效增加土壤有机碳含量、提高土壤的养分吸附容量及持水能力^[5],因此广泛应用于土壤的修复与农业生产。李昌见等^[6]、勾芒芒等^[7]研究表明,施用生物炭对改善土壤透水和透气性、提高土壤肥力均有较好的效果。脱硫石膏作为燃煤脱硫废弃物,是一种即经济又环保的土壤改良剂,已被证实是有效的盐碱土壤改良产品^[8]。毛玉梅等^[9]研究表明,脱硫石膏可以改善土壤理化性质、增加盐渍化土壤有机质,提高作物产量。作物秸秆含有丰富的营养元素,将其还田不但可以减少环境污染、增加土壤碳库,还可以改善土壤的水、肥、气、热状况^[10],已有大量研究表明,秸秆还田可以改善土壤性状^[11]、抑制水分蒸发、提高土壤持水率^[12]、有效平抑地温变化^[13]、增加土壤有机碳含量^[14]。

目前,针对单一措施对盐渍土的改良效应研究较多,而同时选用不同改良措施,综合分析和比较其对盐渍化农田土壤水热碳和葵花产量的研究则鲜有报道。鉴于此,本文在内蒙古自治区巴彦淖尔市杭锦后旗三道桥澄泥村开展田间试验,探究生物炭(C)、脱硫石膏(S)、秸秆还田(J)3种常用的改良措施对盐渍化土壤水热碳环境和葵花产量的影响,以期筛选出更加适合该地区的土壤改良措施,为改善干旱地区盐渍化土壤水热条件、提高土壤肥力和葵花产量提供科学依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于内蒙古自治区巴彦淖尔市杭锦后旗三道桥澄泥村(40°49'N,106°54'E,海拔990~1003 m),属于典型的温带大陆性气候,昼夜温差大,平均温差8.2℃,年平均降雨量138.2 mm,平均风速2~3 m/s,蒸发强烈,年蒸发量为2094.4 mm,冬春季土壤盐分表聚现象严重,属典型的盐渍化区域。距离试验地2.2 m处设有一条1.5 m深的排水沟,用于排水排盐。试验地土壤的基本性质见表1,试验期平均气温和日降雨量见图1,地下水位变化情况见图2,地下水水质基本性质为:pH值8.29,电导率0.7 mS/cm,全盐量538 mg/L,总硬度225.2 mg/L,总碱度175.2 mg/L, HCO₃⁻质量浓度213.6 mg/L, Cl⁻质量浓度70.9 mg/L, SO₄²⁻质量浓度96.1 mg/L, Ca²⁺质量浓度70.1 mg/L, Mg²⁺质量浓度12.2 mg/L, K⁺ + Na⁺质量浓度75 mg/L。

表1 土壤性质

Tab.1 Soil properties

土壤类型	粒径质量分数/%			pH值	容重/(g·cm ⁻³)	电导率(Ec _{1:5})/(mS·cm ⁻¹)	全盐量/(g·kg ⁻¹)	有机质质量比/(g·kg ⁻¹)	碱解氮质量比/(mg·kg ⁻¹)	速效磷质量比/(mg·kg ⁻¹)	速效钾质量比/(mg·kg ⁻¹)
	砂粒	粉粒	粘粒								
粉质壤土	5.30	78.97	15.73	8.32	1.42	1.58	5.15	14.32	50.74	8.75	218.45

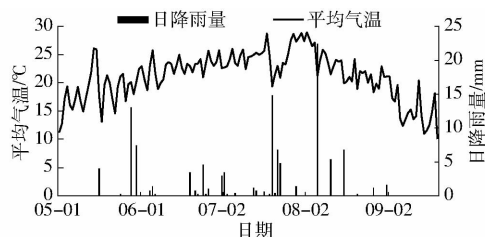


图1 研究区平均气温和日降雨量

Fig.1 Average temperature and daily rainfall in study area

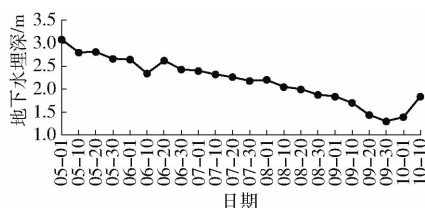


图2 地下水埋深变化曲线

Fig.2 Changing curve of groundwater depth

1.2 供试材料

试验选用的生物炭为辽宁金和福农业开发有限公司使用玉米秸秆经热解处理制备而成,团队多年试验结果显示田间最佳施用量为22.5 t/hm²^[15];脱硫石膏来自包头市第二热电厂废弃的脱硫石膏,根

据离子交换反应原理计算得出最佳施用量为37.5 t/hm²;秸秆选用当地收获的经铡草机铡碎成5 cm左右小段的玉米秸秆,施用量为20.625 t/hm²(施用量参照当地农民经验)。

1.3 试验设计

试验于2017年和2018年的4—10月进行,各

种改良剂均于2017年4月施于土壤表面,用旋耕机将其与耕层土壤均匀混合,主要采样日期为2018年4—10月。采用大田小区试验,设置生物炭(C)、脱硫石膏(S)、秸秆还田(J)以及不施加任何土壤改良剂的空白对照(CK)4个处理,每个处理3个重复,随机区组排列,小区面积为 150 m^2 ($30\text{ m} \times 5\text{ m}$)。2017—2018年种植作物均为葵花,采用当地普遍种植的品种“902”。5月1日进行春汇压盐,在播前2 d进行人工耕翻,深度约30 cm。耕翻后松土施肥,磷酸二胺和复合肥均作为底肥一次性施入,施入量分别为 $450\text{ kg}/\text{hm}^2$ 和 $337.5\text{ kg}/\text{hm}^2$ 。5月25日播种,人工点播,种植株距50 cm,行距60 cm。在葵花整个生育期内,灌水方式为膜下滴灌,灌水定额为 $225\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。葵花生育期内各处理田间管理保持一致。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 土壤含水率

葵花的每个生育期在不同处理采用土钻进行多点采集土样,取样深度为0~100 cm,每20 cm为一层,每层土壤混合均匀后带回实验室,在 105°C 恒温条件下,干燥8 h至干燥状态,计算土壤质量含水率。

1.4.2 土壤温度

土壤温度采用曲管式地温计,在各生育期内连续3 d每日08:00—20:00读取土层深度5、15、25、35 cm处土壤温度,每隔2 h读一次,最后求取其平均值。

1.4.3 土壤有机碳含量

在葵花各生育期按照多点法对不同处理用土钻分别于0~20 cm和20~40 cm土层取样,将土样破碎混匀,经自然风干研磨,采用重铬酸钾容量法测定土壤有机碳含量。分别计算某土层*i*的有机碳密度和土壤剖面的总有机碳密度,计算公式分别为

$$D_{\text{SoC}_i} = C_i D_i E_i / 100 \quad (1)$$

$$D_{\text{SoC}_t} = \sum_{i=1}^n D_{\text{SoC}_i} = \sum_{i=1}^n (C_i D_i E_i / 100) \quad (2)$$

式中 D_{SoC_i} ——某土层*i*的有机碳密度, kg/m^2

D_{SoC_t} ——土壤剖面的总有机碳密度, kg/m^2

C_i ——第*i*层土壤有机碳含量, g/kg

D_i ——第*i*层土壤容重, g/cm^3

E_i ——第*i*层土层厚度,cm

n ——第*i*层土壤剖面土层数

1.4.4 葵花百粒质量、产量

在葵花成熟收获时,在各小区选取 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 进行考种,各小区单打单收,晒干脱粒测产。百粒质量为随机选100粒葵花称其质量,重复3次,取其平

均值。

1.5 数据分析

采用Microsoft Excel 2010进行数据整理,利用SPSS 20.0对数据进行单因素方差分析,采用LSD法进行差异显著性检验($P < 0.05$)。采用Surfer 12和Origin 2017作图。

2 结果与分析

2.1 不同改良措施对土壤含水率的影响

2.1.1 葵花生育期土壤含水率动态变化特征

图3(图中不同小写字母表示同一生育期不同处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平,下同)为各处理葵花生育期在0~20 cm和20~40 cm土层土壤含水率的动态变化情况。从图中可以看出,土壤含水率的变化趋势与降雨量的变化趋势基本一致。葵花苗期植株矮小,耗水量低,CK处理在0~20 cm和20~40 cm土层含水率低于C、S和J处理。这可能是由于改良处理可显著降低土壤蒸发,减少水分的消耗。现蕾期降雨量减少,葵花各项生长指标逐渐增大,作物耗水使含水率呈下降趋势,3种改良处理与对照差异显著,但三者无显著性差异,说明各改良措施均有较好的保墒效果,而此阶段是葵花生长关键期,适宜的水分更利于作物生长发育;在开花期和灌浆期,降雨量增加,但由于此阶段作物生长旺盛,耗水量增加,两者综合作用使得土壤含水率变化不大,开花期在0~20 cm土层C处理的土壤含水率增幅最大,达24.39%,20~40 cm土层各处理无显著

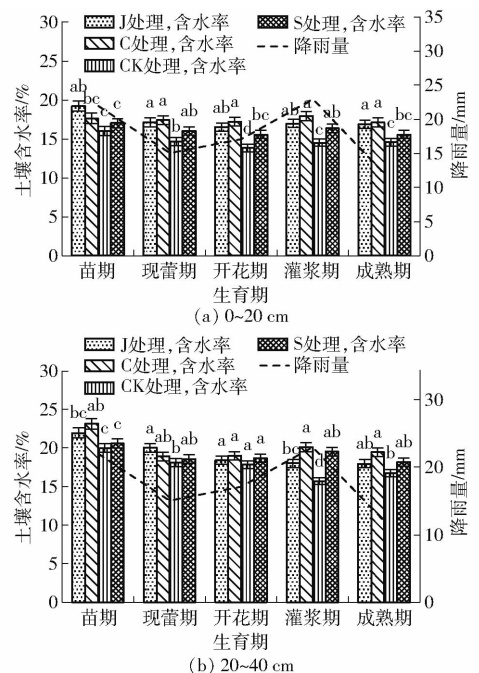


图3 全生育期内不同处理土壤含水率动态变化
Fig. 3 Dynamic changes of soil moisture content in different treatments during whole growth period

差异;灌浆期各土层各处理的土壤含水率均较对照有显著性差异;成熟期降雨量减小,作物耗水量开始减少,使得土壤含水率变化不大,在0~20 cm 土层 J、C 处理分别较 CK 显著提高 15.85% 和 17.56%, S 处理差异不显著,在 20~40 cm 土层 C 处理显著高于 CK,增幅为 16.00%, C、S 和 J 处理之间无显著差异。

2.1.2 土壤含水率剖面分布特征

为探究土壤水分在垂直方向上的分布特征,通过含水率等值线图来说明土壤剖面含水率的变化趋势。在葵花生育期 110 d 内,分析不同处理 0~100 cm 土层土壤水分空间分布特点可以看出(图 4),各处理在 0~40 cm 土层土壤水分空间分布规律较为明显,此土层主要受外界及作物根系等因素的影响,土壤改良措施起到了较好的蓄水、保水作用,蓄贮了较多的水分,各改良处理的土壤含水率较 CK 高,随着土层深度的增加土壤受外界影响程度逐渐减弱,在 40~100 cm 土层内,各处理间土壤含水率发生波动变化,处理间无明显规律。播种后 10d 左右,各处理 0~100 cm 土层土壤含水率均较高,且 CK 处理 0~100 cm 土层土壤含水率低于 C、S、J 处理,这可能由于春灌后,各改良处理可显著降低土壤水分蒸发,起到了保墒作用。苗期葵花根系较浅,主要吸收表层土壤水分,对深层土壤水分影响较小。现蕾期,各改良处理在 0~40 cm 土层土壤含水率普遍高于对照,能有效保持作物耕层土壤水分,其中 10~20 cm 土层效

果最明显,含水率由大到小依次为 C 处理、J 处理、S 处理、CK 处理,原因可能与不同土壤改良措施的特性有关。随着作物生长,水分需求量增大,在开花期和灌浆期,各处理土壤含水率与 CK 相比,均有所提高(除 S 处理 0~30 cm 土层含水率较低),生物炭处理在灌浆期 10~30 cm 土层含水率等值线较密,反映了土壤含水率梯度较大,在空间上变化剧烈,且土壤含水率显著高于 CK 处理,增幅最高达到 80.47%。此外,各处理剖面土壤水分空间分布格局均表现下湿上干的特点,但不同处理间干湿土层的空间分布位置和土壤含水率差异较小。

2.2 不同改良措施对葵花各生育期土壤温度的影响

表 2 为不同处理各生育期土壤多日平均温度的变化。由表可知,在苗期 C 处理和 S 处理保温效果相当,各土层深度温度无显著性差异,但均高于 CK 处理, J 处理与 CK 处理在 25 cm 深度处土壤温度有显著差异;在现蕾期 S 处理和 J 处理保温效果相当,且在 15 cm 处土壤温度显著高于 CK,分别增加了 2.5℃ 和 2.44℃;说明与对照相比, C、S、J 处理均可有效提高葵花生育前期土壤温度,可使葵花提前出苗并为前期生长提供良好的土壤温度条件;在开花期 C、S、J 处理在 5~25 cm 深度土壤温度较对照组 CK 低 0.02~1.3℃,此生育阶段对应的外界气温达到了全年的峰值。有研究表明^[16],过高的土壤温度会抑制作物正常的代谢,从而加快老化进程,影响对养分和水分的吸收,最终影响产量的形成,此时各改

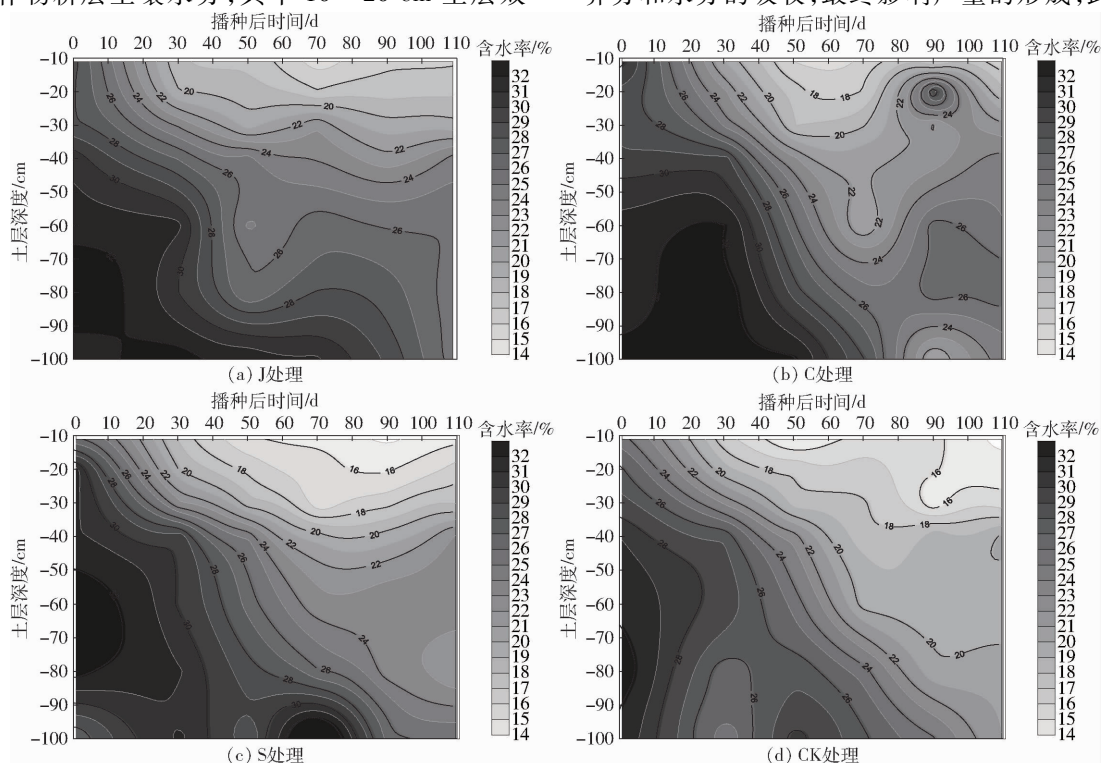


图 4 不同处理的土壤含水率空间分布

Fig. 4 Spatial distributions of soil moisture under different treatments

良处理在一定程度上达到了降温效果,可使葵花避免高温的危害,为作物生长创造适宜的温度环境;在灌浆期到成熟期,由于此时气温下降,同时受到植物生长过程中蒸腾作用等生理活动的影响,增加了近地面的相对湿度,使得土壤温度降低,其中C和S处理保温效果相当,J处理在5~15 cm土层与对照CK差异显著;成熟期,C、S、J处理在25 cm土层处与CK差异显著,增幅分别为1.85、1.74、1.89℃。

表2 不同处理下葵花各生育期土壤温度对比

Tab.2 Comparison of soil temperature in different growth stages of sunflower under different treatments
℃

处理	土层深度/cm	生育期				
		苗期	现蕾期	开花期	灌浆期	成熟期
CK	5	21.32 ^b	22.90 ^a	26.23 ^a	18.40 ^b	15.10 ^a
	15	20.90 ^a	21.20 ^b	25.11 ^a	17.90 ^b	14.11 ^b
	25	19.31 ^b	20.34 ^a	23.60 ^a	17.02 ^a	13.22 ^b
	35	19.20 ^a	20.05 ^a	21.06 ^a	16.23 ^a	13.20 ^a
C	5	23.35 ^{ab}	24.21 ^a	25.13 ^a	20.34 ^{ab}	16.40 ^a
	15	22.57 ^a	22.79 ^{ab}	23.85 ^a	18.51 ^{ab}	15.30 ^{ab}
	25	21.90 ^a	22.23 ^a	23.01 ^a	17.38 ^a	15.07 ^a
	35	20.86 ^a	21.47 ^a	21.04 ^a	16.41 ^a	14.25 ^a
S	5	23.12 ^{ab}	23.97 ^a	26.20 ^a	20.21 ^{ab}	15.25 ^a
	15	22.36 ^a	23.70 ^a	24.16 ^a	18.14 ^{ab}	15.07 ^{ab}
	25	22.01 ^a	22.12 ^a	23.58 ^a	18.08 ^a	14.96 ^a
	35	20.57 ^a	21.04 ^a	21.53 ^a	17.18 ^a	13.59 ^a
J	5	23.80 ^b	24.36 ^a	26.01 ^a	21.31 ^a	16.20 ^a
	15	22.41 ^a	23.64 ^a	24.02 ^a	20.26 ^a	15.73 ^a
	25	21.80 ^a	22.30 ^a	22.90 ^a	18.13 ^a	15.11 ^a
	35	21.03 ^a	22.08 ^a	21.46 ^a	17.62 ^a	14.27 ^a

注:同列不同小写字母表示同一土层深度不同处理间差异在 $P < 0.05$ 水平显著,下同。

2.3 不同改良措施对土壤有机碳含量的影响

图5为整个生育期各处理在0~20 cm和20~40 cm土层土壤有机碳含量的变化规律。在0~20 cm土层,在苗期C处理和S处理的土壤有机碳含量显著高于CK,增幅分别为52.58%和24.96%,J处理与CK无显著差异;在20~40 cm土层只有C处理显著高于CK处理,增幅为17.34%。在现蕾期和开花期0~20 cm土层C、S、J处理的土壤有机碳含量比CK分别增加了52.22%、27.12%、15.72%和36.90%、16.85%、20%,均达到了显著性差异;在20~40 cm土层,C、S、J处理较CK的最大增幅分别为29.42%、18.18%、19.37%。在灌浆期各处理的土壤有机碳含量在土层0~20 cm和20~40 cm较CK均有显著差异,增幅在12.95%~47.12%。成熟期,在0~20 cm土层,J、C处理的土壤有机碳含量显著高于CK处理,分别增加了15.92%和

16.90%,S处理增幅较小;在20~40 cm土层,C、S、J处理较CK分别增加了26.22%、15.18%、10.05%。

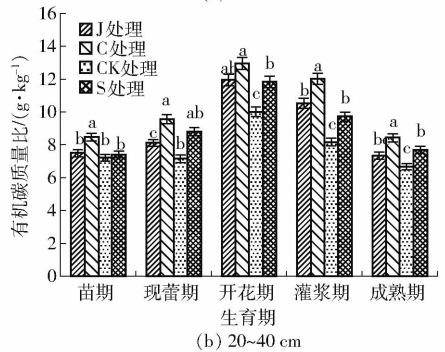
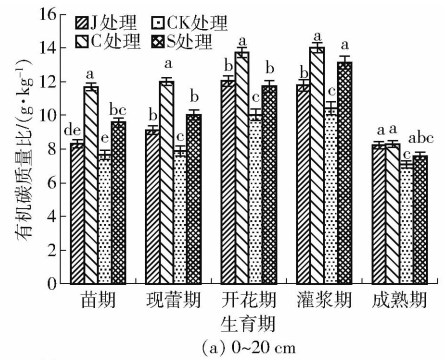


图5 不同处理下土壤有机碳含量动态变化

Fig.5 Dynamic changes of soil organic carbon content under different treatments

2.4 不同改良措施下土壤有机碳密度的变化

由表3可知,各处理不同土层的土壤有机碳总密度较对照CK均有所增加。CK、C、S、J处理在0~40 cm土层的土壤有机碳总密度分别为3.77、4.43、4.12、4.00 kg/m²,其中C处理显著高于CK处理,增加了17.46%,C、S、J处理间无显著性差异。在0~20 cm土层,各处理间的土壤有机碳密度波动范围为1.93~2.19 kg/m²,其中S和C处理显著高于CK处理,增幅分别为10.80%和13.46%;在20~40 cm土层,各处理间的土壤有机碳密度波动范围为1.84~2.24 kg/m²,其中C处理显著高于其他处理,比CK、S、J处理分别高出21.64%、12.99%、13.86%,J和S处理间土壤有机碳密度保持在同一水平(无显著差异)。可以看出,0~20 cm土层土壤有机碳含量

表3 不同处理的土壤有机碳密度

Tab.3 Soil organic carbon density under different treatments

处理	土层深度/cm		总和
	0~20	20~40	
CK	1.93 ^b	1.84 ^b	3.77 ^b
J	2.02 ^{ab}	1.97 ^b	4.00 ^{ab}
C	2.19 ^a	2.24 ^a	4.43 ^a
S	2.14 ^a	1.98 ^b	4.12 ^{ab}

均高于 20 ~ 40 cm 土层(除处理 C 外),说明添加改良剂是引起土壤有机碳密度变化的主要原因。

2.5 不同改良措施对葵花产量的影响

不同改良措施下葵花产量如表 4 所示,与 CK 相比,不同改良措施对葵花产量以及百粒质量均有促进作用,各处理增幅较对照相比差异显著。不同处理下葵花的百粒质量保持在 16.01 ~ 21.79 g 之间,C、S、J 处理的百粒质量和产量显著高于 CK,增幅分别为 36.10%、29.67%、25.11% 和 32.28%、30.68%、21.94%,且三者之间差异不显著。这是由于在苗期各处理的保温效果明显优于空白处理,可导致提前出苗,并且施加改良剂后土壤含水率有效提高,有机碳含量增加,促进了葵花的生长发育,故各改良处理下的产量优于空白处理。

表 4 不同改良措施下的葵花产量

Tab.4 Effects of different improvement measures on sunflower yield

处理	百粒质量/g	产量/(kg·hm ⁻²)	增产率/%
CK	(16.01 ± 0.46) ^b	(3 431.70 ± 99) ^b	
J	(20.03 ± 0.61) ^a	(4 184.50 ± 120) ^a	21.94
C	(21.79 ± 0.63) ^a	(4 539.60 ± 131) ^a	32.28
S	(20.76 ± 0.60) ^a	(4 484.55 ± 129) ^a	30.68

3 讨论

3.1 不同改良措施对土壤含水率和土壤温度的影响

水热条件是影响作物出苗率、生长发育和提高作物产量的关键性因素。盐渍化土壤结构板结,保墒保肥能力差。本试验发现,施入生物炭、脱硫石膏和秸秆还田均能不同程度地改善土壤水分和温度状况,起到保墒保温作用。综合来看,生物炭处理的保水、持水性更好,尤其在苗期,葵花植株矮小,根系较浅且蒸腾量较小,土壤颗粒间的蒸发成为土壤水分流失的主要原因,此时生物炭处理能够显著增加土壤含水率,主要由于生物炭具有多孔性、亲水性和较强的吸附力,可以增加土壤孔隙度,有利于提高土壤的持水能力。这与魏永霞等^[17]和 KIMETU 等^[18]研究结果一致。脱硫石膏在一定程度上也可提高土壤含水率,主要由于其含有高价离子,可增强土壤的离子吸附能力,改善土壤团粒结构,提高土壤持水性。秸秆还田处理在生育前期能较显著地增加土壤含水率,后期增加效应稍有减弱。主要原因是后期葵花叶片生长茂盛,遮阴了土壤,植株蒸腾是土壤含水率降低的主要原因,而后期气温逐渐升高,秸秆增强了土壤的通气能力,且植株需水量增加,使秸秆本身的水分逐渐减小,而在滴灌条件下,灌水量不足以抵掉土壤蒸发和作物的吸水量,导致秸秆还田处理土壤

含水率降低,这与高利华等^[10]研究结果基本一致。分析土壤水分在垂直方向上的分布特征发现,与 CK 处理相比,各改良处理在 0 ~ 40 cm 可以通过不同程度地聚集降水,减少土壤水分蒸发,为葵花生长创造良好的水分环境。40 cm 以下,各处理间土壤水分含量发生波动变化,处理间无明显规律。通过土壤含水率等值线图可以直观发现,这种保水现象在生物炭处理更为显著。在我国干旱半干旱地区土壤生产力和土壤肥力较差,水土流失较严重,追其原因,大部分是因为土壤持水能力差,土壤有机质淋洗流失所致。盐渍化土壤中施加生物炭可有效缓解这种矛盾。

不同改良措施可以明显地调节土壤温度。综合整个生育期,3 种改良措施在一定程度上均可提高土壤温度,主要原因是生物炭本身为黑色,脱硫石膏为浅灰色,加入土壤后,可使土壤的吸热能力增强,从而提高土壤温度;另一方面,可能由于生物炭的多孔结构为微生物的生存提供了有利的场所,微生物在活动过程中会释放出大量热量,从而增加土壤温度。秸秆还田 1 年后,所形成的腐殖质使得土壤变得疏松,改善了土壤通透性,且秸秆分解形成有机质使得土壤颜色变暗,增加了土壤吸热。这与高利华等^[19]研究结果一致。此外,试验发现各改良措施在生育前期起到了增温保温的效果,可促进葵花出苗和生长发育,而在温度最高阶段(开花期)又起到了一定的降温作用,避免高温的危害,能较好地调节土壤温度。且各处理的调温作用主要在 5 ~ 25 cm 土层,在 35 cm 处作用减弱,分析原因可能是土壤表层温度受太阳辐射和添加的改良措施影响较大,随着土层深度的增加,对土壤温度的影响逐渐减小。

3.2 不同改良措施对土壤有机碳的影响

农田土壤有机碳库是土壤中较活跃的组分,是作物高产稳产的基础^[20]。试验表明,施入不同改良措施后均能提高土壤有机碳含量和有机碳总密度,其中生物炭的效果最好,由于生物炭保墒保温效果好,改善了土壤结构,且所带负电荷能够提高土壤阳离子交换量,减少土壤的养分流失^[21],柯跃进等^[22]研究结果表明,施入生物炭可增加土壤总有机碳含量,有利于土壤碳的固定,与本研究结果一致;随着葵花生育进程,秸秆逐渐腐解,增加了土壤有机碳含量;脱硫石膏用 Ca²⁺ 置换 Na⁺,改善土壤团粒结构,且含有大量微量元素,可通过改变土壤理化性质,增加土壤有机碳含量^[23]。此外,脱硫石膏处理的土壤有机碳含量高于秸秆还田处理,原因可能是脱硫石膏通过降低土壤盐分含量,使受盐碱胁迫程度降低,从而增加了盐渍化土壤培肥的效果。试验还发现,

表层土壤有机碳含量较高,随着土层深度的增加,土壤有机碳含量呈降低趋势。分析原因可能是由于0~20 cm 耕层土壤有机碳含量的变化主要受到改良措施的影响,这也进一步说明改良措施对提高土壤有机碳很有帮助。

3.3 不同改良措施对葵花产量的影响

在盐渍化土壤中施加各种不同改良措施的主要目的是通过改善土壤物理结构和化学离子环境,来提高土壤的可持续肥力,而土壤改良和培肥效果最直接的衡量标准就是作物产量。本试验中,与对照相比,3种改良措施均能显著提高葵花产量和百粒质量,生物炭的增产率最高,达到32.28%,这主要由于生物炭在整个生育期对土壤的保水保肥能力最佳,从而显著提高葵花产量。这与唐光木等^[24]的研究结果相似。石婧等^[25]研究表明,脱硫石膏在改善土壤性状和提高作物产量效果显著。赵宏波等^[26]研究得出,秸秆还田可显著提高作物产量。本研究结果表明脱硫石膏和秸秆还田较对照分别增产30.68%、21.94%,与以上研究结果相似。相关分析表明,土壤有机碳含量与葵花产量呈显著性正相关($P < 0.05$),相关系数为0.985。可见,不同改良措施下,葵花产量的增加与土壤有机碳含量的增加存在密切的关系。

面临河套灌区大面积农业种植过程中造成的土壤盐渍化问题,为提高盐渍化土壤保墒保温、保肥能力,开展盐碱地改土培肥和增产理论与技术的研究意义重大。生物炭和秸秆是促进农田可持续发展、资源循环利用的重要措施,具有广阔的研究前景。脱硫石膏作为燃煤脱硫废弃物,被认为是一项既经济又环保、且修复速率快的土壤改良措施之一。也有研究表明^[27],脱硫石膏应与有机肥、耕作措施等相结合,效果更显著。本试验主要在河套灌区施加

3种不同改良措施,对盐渍化土壤水热碳和葵花生长的影响进行研究,结果显示生物炭处理能更好地为葵花生长创造良好的水热条件,增加土壤有机碳,可大幅提高葵花产量。

4 结 论

(1)3种改良处理均具有良好的蓄水作用,能显著提高整个生育期内0~20 cm和20~40 cm土层的土壤含水率,其中,施加生物炭增幅最大,较对照增加了24.39%,脱硫石膏在整个生育期能较稳定地增加土壤含水率,而秸秆还田在生育前期较显著地增加土壤含水率,后期增加效应有所减弱;在土壤垂直剖面上,0~40 cm土层各改良措施保水、蓄水作用效果更好,40 cm以下,各处理间土壤含水率发生波动变化,处理间无明显规律。

(2)整个生育期内,3种改良措施对5~25 cm土层土壤温度有较好的平抑作用,均表现出低温时具有“增温效应”、高温时具有“降温效应”。

(3)3种改良措施均可以增加土壤有机碳含量和有机碳密度,且0~20 cm土层增幅大于20~40 cm土层,施加生物炭效果最显著,秸秆还田处理增幅最小,不同处理间的土壤有机碳密度由大到小为C、S、J、CK处理。

(4)3种改良措施均能提高葵花的产量和百粒质量。与对照CK相比,C、S、J处理的百粒质量分别增加36.10%、29.67%、25.11%,产量分别增加32.28%、30.68%、21.94%。施加生物炭处理增产率最高,其次为脱硫石膏处理,秸秆还田处理可能由于施加年限太短,秸秆尚未充分分解,导致增产率最低。综合分析,在河套灌区施入生物炭22.5 t/hm²,对盐渍土壤提高肥力、保墒保温、持水效果更好,能显著提高葵花产量。

参 考 文 献

- [1] YU H, LIU T X, XU Y P, et al. Analysis of salinization dynamics by remote sensing in Hetao Irrigation District of North China [J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 7(12): 1952 - 1960.
- [2] 郑顺安, 韩允奎, 袁宇志, 等. 盐渍化环境下秸秆还田对稻米汞及甲基汞累积的影响[J]. *中国环境科学*, 2019, 39(1): 243 - 248. ZHENG Shun'an, HAN Yunlei, YUAN Yuzhi, et al. Effects of straw returning on the accumulation of mercury and methylmercury in rice under salinization environment [J]. *China Environmental Science*, 2019, 39(1): 243 - 248. (in Chinese)
- [3] 王海江, 石建初, 张花玲, 等. 不同改良措施下新疆重度盐渍土壤盐分变化与脱盐效果[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(22): 102 - 111. WANG Haijiang, SHI Jianchu, ZHANG Hualing, et al. Salt change and desalination effect of heavy saline soil in Xinjiang under different improvement measures [J]. *Transactions of the CSAE*, 2014, 30(22): 102 - 111. (in Chinese)
- [4] 孟凡荣, 窦森, 尹显宝, 等. 施用玉米秸秆生物质炭对黑土腐殖质组成和胡敏酸结构特征的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2016, 35(1): 122 - 128. MENG Fanrong, DOU Sen, YIN Xianbao, et al. Effects of application of corn stalk biomass carbon on humus composition and humin acid structure in black soil [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(1): 122 - 128. (in Chinese)
- [5] 阎海涛, 殷全玉, 丁松爽, 等. 生物炭对褐土理化特性及真菌群落结构的影响[J]. *环境科学*, 2018, 39(5): 2412 - 2419. YAN Haitao, YIN Quanyu, DING Songshuang, et al. Effects of biochar on physicochemical properties and fungal community structure of cinnamon soil [J]. *Environmental Science*, 2018, 39(5): 2412 - 2419. (in Chinese)
- [6] 李昌见, 屈忠义, 勾芒芒, 等. 生物炭对土壤水肥热效应的影响试验研究[J]. *生态环境学报*, 2014, 23(7): 1141 - 1147. LI Changjian, QU Zhongyi, GOU Mangmang, et al. Experimental study on the effect of biochar on soil water and fertilizer heat effects [J]. *Journal of Eco-Environment*, 2014, 23(7): 1141 - 1147. (in Chinese)

- [7] 勾芒芒,屈忠义,杨晓,等.生物炭对砂壤土节水保肥及番茄产量的影响研究[J/OL].农业机械学报,2014,45(1):137-142.
GOU Mangmang, QU Zhongyi, YANG Xiao, et al. Study on the effect of biochar on water saving and nutrient production of sandy loam soil and tomato yield[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(1):137-142. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20140122&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.01.022. (in Chinese)
- [8] 杨真,王宝山.中国盐碱地改良利用技术研究进展及未来趋势[J].水土保持,2014,2(1):1-11.
YANG Zhen, WANG Baoshan. Research progress and future trends of improvement and utilization technology of saline-alkali land in China[J]. Water and Soil Conservation, 2014, 2(1):1-11. (in Chinese)
- [9] 毛玉梅,李小平.烟气脱硫石膏对滨海滩涂盐碱地的改良效果研究[J].中国环境科学,2016,36(1):225-231.
MAO Yumei, LI Xiaoping. Study on the improvement effect of flue gas desulfurization gypsum on saline-alkali land in Binhai Beach[J]. China Environmental Science, 2016, 36(1):225-231. (in Chinese)
- [10] 高利华,屈忠义,丁艳宏,等.秸秆不同还田方式对土壤理化性质及玉米产量的影响研究[J].中国农村水利水电,2016(9):28-34.
GAO Lihua, QU Zhongyi, DING Yanhong, et al. Study on the effects of different straw returning methods on soil physical and chemical properties and corn yield[J]. China Rural Water and Hydropower, 2016(9):28-34. (in Chinese)
- [11] 范富,张庆国,邵继承,等.玉米秸秆夹层改善盐碱地土壤生物性状[J].农业工程学报,2015,31(8):133-139.
FAN Fu, ZHANG Qingguo, TAI Jicheng, et al. Improvement of soil biological properties in saline-alkali soil by corn stalk intercalation[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(8):133-139. (in Chinese)
- [12] 解文艳,樊贵盛,周怀平,等.秸秆还田方式对旱地玉米产量和水分利用效率的影响[J].农业机械学报,2011,42(11):60-67.
XIE Wenyan, FAN Guisheng, ZHOU Huaiping, et al. Effects of straw returning on corn yield and water use efficiency in dryland[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(11):60-67. (in Chinese)
- [13] 张玉文.秸秆还田对滨海盐碱棉田物理性状的改良研究[D].泰安:山东农业大学,2016.
ZHANG Yuwen. Improvement of physical properties of coastal saline-alkaline cotton fields by straw returning[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2016. (in Chinese)
- [14] ZHAO X, ZHANG R, XUE J F, et al. Management-induced changes to soil organic carbon in China: a meta-analysis[J]. Advances in Agronomy, 2015, 134:1-50.
- [15] 高利华.滴灌条件下水碳耦合对土壤节水保肥和固碳减排综合效应研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2017.
GAO Lihua. Study on the combined effect of water and carbon coupling on soil water conservation and carbon sequestration under drip irrigation[D]. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2017. (in Chinese)
- [16] 李炳文.山东玉米[M].上海:上海科学技术出版社,2001:60-61,300-302.
- [17] 魏永霞,刘志凯,冯鼎锐,等.生物炭对草甸黑土物理性质及雨后水分动态变化的影响[J/OL].农业机械学报,2016,47(8):201-207.
WEI Yongxia, LIU Zhikai, FENG Dingrui, et al. Effects of biochar on physical properties of meadow black soil and water dynamics after rain[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(8):201-207. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160825&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.08.025. (in Chinese)
- [18] KIMETU J M, EHMANN J. Stability and stabilisation of biochar and green manure in soil with different organic carbon contents[J]. Australian Journal of Soil Research, 2010, 48(7):577-585.
- [19] 高利华,屈忠义.膜下滴灌条件下生物质炭对土壤水热肥效应的影响[J].土壤,2017,49(3):614-620.
GAO Lihua, QU Zhongyi. Effects of biochar on soil water and heat fertilizer under drip irrigation[J]. Soil, 2017, 49(3):614-620. (in Chinese)
- [20] LAL R. Soil science and the carbon civilization[J]. Soil Science Society of America Journal, 2007, 1(5):1425-1437.
- [21] 何绪生,耿增超,余雕,等.生物炭生产与农用的意义及国内外动态[J].农业工程学报,2011,27(2):1-7.
HE Xusheng, GENG Zengchao, SHE Diao, et al. The significance of biochar production and agricultural use and the dynamics at home and abroad[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(2):1-7. (in Chinese)
- [22] 柯跃进,胡学玉,易卿,等.水稻秸秆生物炭对耕地土壤有机碳及其CO₂释放的影响[J].环境科学,2014,35(1):93-99.
KE Yuejin, HU Xueyu, YI Qing, et al. Effects of rice straw biochar on soil organic carbon and CO₂ release from cultivated land[J]. Environmental Science, 2014, 35(1):93-99. (in Chinese)
- [23] 胡翔宇,向秋洁,木志坚.脱硫石膏对稻田CH₄释放及其功能微生物种群的影响[J].环境科学,2018(8):1-11.
HU Xiangyu, XIANG Qiuji, MU Zhijian. Effects of desulfurization gypsum on CH₄ release and functional microbial population in paddy fields[J]. Environmental Science, 2018(8):1-11. (in Chinese)
- [24] 唐光木,葛春辉,徐万里,等.施用生物黑炭对新疆灰漠土肥力与玉米生长的影响[J].农业环境科学学报,2011,30(9):1797-1802.
TANG Guangmu, GE Chunhui, XU Wanli, et al. Effects of application of biological black carbon on the fertility of gray soil in Xinjiang and maize growth[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2011, 30(9):1797-1802. (in Chinese)
- [25] 石婧,黄超,刘娟,等.脱硫石膏不同施用量对新疆盐碱土壤改良效果及作物产量的影响[J].环境工程学报,2018,12(6):1800-1807.
SHI Jing, HUANG Chao, LIU Juan, et al. Effects of different application rates of desulfurization gypsum on the improvement of saline-alkali soil and crop yield in Xinjiang[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2018, 12(6):1800-1807. (in Chinese)
- [26] 赵宏波,何进,李洪文,等.秸秆还田方式对种床土壤物理性质和小麦生长的影响[J/OL].农业机械学报,2018,49(增刊):60-67.
ZHAO Hongbo, HE Jin, LI Hongwen, et al. Effects of straw returning on soil physical properties and wheat growth in seedbed[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(Supp.):60-67. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2018s009&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.S0.009. (in Chinese)
- [27] 沈婧丽,王彬,许兴.脱硫石膏改良盐碱地研究进展[J].农业科学研究,2016,37(1):65-69.
SHEN Jingli, WANG Bin, XU Xing. Research progress in improving saline-alkali soil by desulfurization gypsum[J]. Journal of Agricultural Sciences, 2016, 37(1):65-69. (in Chinese)