

不同改良剂对河套灌区盐渍化土壤性状和葵花生长特性的影响

胡 敏, 屈忠义, 王丽萍, 丁艳宏, 张 瑶, 李 哲, 孙宇乐

(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: 为了评价不同改良剂对盐渍化土壤的改良效果, 以葵花为研究对象, 采用大田裂区试验方法, 设置生物炭(DC, 22.5 t/hm²)、脱硫石膏(DS, 37.5 t/hm²)、脱硫石膏加有机肥(DSF, 各 37.5 t/hm²)、对照(DCK)4 种处理。结果表明: 施加改良剂均降低了土壤容重, 增加了土壤孔隙度, 生物炭效果最明显, 在耕层(0—20 cm)收获后较播种前土壤容重降低 6.11%, 是 DCK 的 4 倍, 孔隙度增加 12.89%, 是 DCK 的 5 倍; 脱硫石膏降低土壤 pH 和电导率效果最优, 最大降幅分别为 10.09% 和 28.51%; 3 种改良剂对盐渍化土壤的肥力效应不同, 与对照相比, 在收获后生物炭处理显著提高土壤耕层有机质、碱解氮、速效磷含量, 脱硫石膏显著提高速效钾含量; 各改良剂处理能显著增加葵花株高、茎粗、干物质积累量和百粒重, 且生物炭处理的葵花产量最高, 为 4 539.60 kg/hm², 较对照增产 32.28%。综上所述, 在河套灌区盐渍化土壤中施入不同改良剂后, 土壤性状得到明显改善, 促进葵花的正常生长, 提高了产量。其中施入生物炭 22.5 t/hm² 对盐渍土壤改良效果最佳, 其次是施入脱硫石膏 37.5 t/hm², 能有效地提高土壤肥力和葵花产量。

关键词: 河套灌区; 盐渍土; 土壤性状; 葵花生长及产量

中图分类号: S156.4

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)05-0316-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2019.05.046

Effects of Different Amendments on the Properties of Salinized Soil and Sunflower Growth in Hetao Irrigation District

HU Min, QU Zhongyi, WANG Liping, DING Yanhong, ZHANG Yao, LI Zhe, SUN Yule

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

Abstract: In order to evaluate the improvement effect of different amendments on salinized soil, this study took sunflower as the research object. A field split plot experiment was conducted with 4 treatments: the biochar (DC, 22.5 t/hm²), desulfurization gypsum (DS, 37.5 t/hm²), desulfurization gypsum and organic fertilizer (DSF, 37.5 t/hm²) and the control (DCK). The results showed that the soil bulk density were reduced, and soil porosity was increased by adding amendments, among which the biochar gave the best effect. For the plough layer (0—20 cm), the soil bulk density was decreased by 6.11% after harvest, which was 4 times of the control. Soil porosity was increased by 12.89%, which was 5 times of the control. The desulfurization gypsum had the best effect in reducing soil pH value and electrical conductivity, with the biggest drop of 10.09% and 28.51%, respectively. Different amendments had different effects on soil fertility. Compared with the control, the biochar treatment significantly increased the contents of organic matter, available nitrogen and available phosphorus in surface soil after harvest. The desulfurization gypsum significantly increased the contents of available potassium. The sunflower plant height, stem diameter, dry matter accumulation and 100—grain weight were significantly increased by the different amendments. The highest sunflower yield was observed under the biochar treatment, which was 4 539.60 kg/hm², 32.28% higher than the control. In summary, the soil properties were significantly improved after adding different amendments in the salinized soil of Hetao Irrigation District, leading to the increased sunflower growth and yield. The application of biochar with 22.5 t/hm² had the best effect on the improvement of saline soil, followed by desulfurization gypsum of 37.5 t/hm², both of which could effectively improve soil fertility and sunflower yield.

Keywords: Hetao irrigation district; saline soil; soil properties; sunflower growth and yield

收稿日期: 2019-03-18

资助项目: 国家自然科学基金项目(51779117); 国家重点研发计划项目(2016YFC0501301)

第一作者: 胡敏(1994—), 女, 硕士研究生, 主要从事盐碱地改良研究。E-mail: 1032615480@qq.com

通信作者: 屈忠义(1969—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事区域水土环境与节水灌溉理论技术应用研究。E-mail: quzhongyi68@sohu.com

土壤盐渍化是国内外灌溉农田普遍存在的一个重要问题,关系着作物生产及农业发展。内蒙古河套灌区地处干旱半干旱地区,是我国重要的商品粮生产基地之一,该地区由于土壤母质含盐量大,地下水埋深浅^[1],加上受气候、以及长期以来不合理的灌排条件、农业措施和人为不合理的施肥等因素的影响,造成土壤盐渍化及次生盐渍化比较严重。盐渍土存在土壤结构板结、通透性差、养分流失严重、有机质含量低等多种问题。葵花作为河套灌区的经济作物,盐渍化土壤制约着葵花的正常生长,严重阻碍了农业发展,因此,对该地区盐渍化土壤进行改良,实现葵花产量的提高,成为农业可持续发展的首要任务。

近年来,学界对盐碱地的改良措施主要集中在农业、工程、生物、化学等方面。客土、表层覆盖、深耕深翻、轮作等农业措施^[2-3],虽然操作简单,可以起到改善土壤环境的作用,但由于工程量大、投入成本较高且没有彻底消除盐分等原因,导致今后的发展空间受限。竖井排灌、暗管排水、灌溉洗盐工程方面^[4-5],利用灌溉洗盐不能彻底消除土壤中的盐分,且由于河套灌区排水不畅,地下水位升高会造成盐分表聚的现象,加之灌区水资源短缺,引黄水量大幅降低,以水除盐的成本过高,在节水为前提的条件下,需要配合其他措施进行改良。种植耐盐作物、微生物和动物修复等生物措施^[6-7],虽然有利于土壤脱盐,但不能从根本上解决问题。而向土壤中添加改良剂等化学措施^[8-9],其中的化学物质与土壤中的盐离子发生吸附反应,降低土壤中的 Na^+ 含量,改善土壤物理、化学和生物性质,具有实施简便、见效快等特点,已成为目前研究的热点。

土壤改良剂作为一种行之有效的改良方法,运用不同功能性的土壤改良剂对盐渍化及盐碱化土壤的改良已有大量研究^[10-11]。已有研究^[12-13]发现,生物炭由于含有一定量的矿质养分、巨大的比表面积、多孔隙结构和较强的离子吸附交换性能,有利于降低土壤容重、增加土壤孔隙度和土壤中磷、钾、钙、镁、及氮素含量,提高作物产量,并被广泛应用于水处理和污染土壤修复^[14]。应用脱硫石膏改良盐碱地具有很大的价值,它利用其中的 Ca^{2+} 代换盐碱土中的 Na^+ 实现盐碱土的改良^[15]。也有研究^[16]表明,脱硫石膏在改良盐碱地时,应与土壤改良剂、有机肥、耕作措施等相结合,效果更好。但目前对改良机理研究较少。因此,本文主要针对内蒙古河套灌区盐渍化土壤的特点,在内蒙古巴彦淖尔市杭锦后旗三道桥澄泥村设置田间定位试验,以葵花为研究对象,探讨生物炭(DC)、脱硫石膏(DS)、脱硫石膏加有机肥(DSF)3种改良剂对盐渍土理化性质、土壤肥力以及葵花生长和产量的综合影响,

从而揭示3种改良剂对盐渍化土壤改良的机制,为合理改良利用该地区盐渍化土壤提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2018年4—10月进行,试验区位于内蒙古巴彦淖尔市杭锦后旗三道桥澄泥村(106°54'E,40°49'N,海拔990~1 003 m),该地属典型的温带大陆性气候,冬长夏短,雨热同季,昼夜温差大,光热资源丰富,年平均降水量138.2 mm,昼夜平均温差8.2℃,年平均无霜期135 d左右,平均风速2~3 m/s,年蒸发量2 094.4 mm,年蒸发量较大,土壤盐分的表聚现象较严重。距离试验地2.2 m处设有1条1.5 m深的排水沟,进行排水排盐。地下水水质基本性质为:pH为8.29,电导率为0.7 mS/cm,全盐含量为538 mg/L,总硬度为225.2 mg/L,总碱度为175.2 mg/L, HCO_3^- 含量为213.6 mg/L, Cl^- 含量为70.9 mg/L, SO_4^{2-} 含量为96.1 mg/L, Ca^{2+} 含量为70.1 mg/L, Mg^{2+} 含量为12.2 mg/L, $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 含量为75 mg/L。试验期间地下水位变化情况见图1。

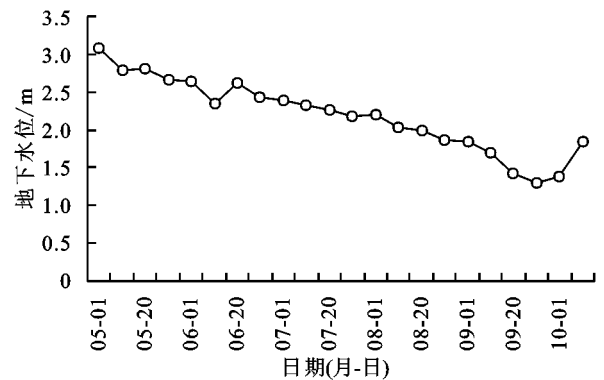


图1 地下水位的变化情况

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制备而成,根据高利华^[17]研究结果得出田间最佳施用量为22.5 t/hm²;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;有机肥来自当地集中堆肥区(将羊粪进行好氧发酵而成),脱硫石膏加有机肥处理施用量分别为脱硫石膏37.5 t/hm²和有机肥37.5 t/hm²伴施(有机肥施用量参照当地农民经验)。试验区土壤为粉壤土,耕层土壤(0—20 cm)的基本性质为:粉粒质量分数为78.97%,砂粒质量分数为5.3%,黏粒质量分数为15.73%。土壤容重为1.42 g/cm³,孔隙度为44.86%,土壤电导率(土水比1:5浸提液电导率)一般在1.58~2.50 mS/cm,pH为8.3左右,土壤有机质含量为14.32 g/kg,速效磷含量为8.75 mg/kg,速效钾含量为218.45 mg/kg,碱解氮含量为50.74 mg/kg。

1.3 试验处理

将各种改良剂施于土壤表面,用旋耕机将其与耕

层(0—20 cm)土壤均匀混合。试验小区采取大田裂区试验方法,随机区组排列,试验共设 4 个处理,分别为:生物炭(DC)、脱硫石膏(DS)、脱硫石膏加有机肥(DSF)和不施加任何土壤改良剂的空白对照(DCK),每个处理 3 个重复,小区控制面积为 150 m² (30 m×5 m)。

供试作物为葵花,采用当地普遍种植的品种“902”,播前 2 天进行人工耕翻,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,磷酸二胺和复合肥施入量分别为 450,337.5 kg/hm²。5 月 25 日播种,人工点播,行距 60 cm,株距 50 cm,种植密度 2 200 株/(667 m²)。生育期间共追加尿素 375 kg/hm²,施肥方式为随水施肥。灌水方式为膜下滴灌,由张力计控制灌水时间,灌水下限为-25 kPa,灌水定额为 225 m³/hm²。葵花生育期内各处理田间管理保持一致。

1.4 样品采集与测定方法

在葵花播种前和收获后,用土钻采用多点混合取样法在不同试验小区分别取 0—20,20—40 cm 土层土壤样品,风干后研磨装袋进行相关指标测定。

土壤容重、土壤孔隙度采用环刀法测定计算;土壤 pH 采用 pH 计测定(水浸提,1:5);土壤电导率采用电导率仪测定(土水比为 1:5);土壤有机质采用油浴加热重铬酸钾容量法测定,碱解氮采用碱解扩散法测定,速效磷采用钼锑抗比色法测定,速效钾采用火焰光度法^[18]测定。

葵花出苗后,每个生育期在各小区选取长势均匀具有代表性的连续 5 株进行定株挂牌,测量各挂牌葵花的株高和茎粗。在葵花成熟收获时,将干物质分地上和地下 2 部分,置于恒温箱中用 105 ℃杀青 40 min,然后在 75 ℃下持续烘干至恒重,称重。在各小区选取(2 m×2 m)进行考种,各小区单打单收,晒干

脱粒测产。

1.5 数据分析与处理

试验数据通过 Excel 2010 软件进行整理并绘图,使用统计分析软件 SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析和相关性分析,采用最小显著差数法(LSD)进行不同处理的差异显著性分析,显著性差异检验水平设为($p<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同改良剂对土壤理化性状的影响

由表 1 可知,与对照相比,施用改良剂均能不同程度的降低土壤容重,增加土壤孔隙度。在 0—20 cm 土层,收获后较播种前,土壤容重降低和孔隙度增加幅度由大到小依次为 DC(6.11%)、DS(5.43%)、DSF(4.58%)、DCK(1.44%)和 DC(12.89%)、DS(12.68%)、DSF(12.55%)、DCK(2.68%),其中 DC 处理土壤容重降低值和孔隙度增加值分别是 DCK 的 4,5 倍;在 20—40 cm 土层,土壤容重降低和孔隙度增加均以生物炭处理最大,土壤容重降低 6.06%,孔隙度增加 13.85%,对照组最小,土壤容重降低 2.84%,孔隙度增加 2.43%,这说明在同样的种植条件下,生物炭在降低土壤容重、增加土壤孔隙度方面表现最佳。

从土壤 pH 和电导率数据可以看出,所有改良剂处理在收获后土壤 pH 和电导率均比播种前有所降低。在 0—20 cm 土层,除对照 DCK 处理土壤 pH 增加了 1.07%,其他处理均降低,其中 DS 处理在 0—20,20—40 cm 土层 pH 降低幅度均最大,分别降低了 9.72%,10.09%。在 0—20 cm 土层,各处理土壤电导率降低幅度依次为 DS(28.51%)、DC(18.82%)、DSF(16.54%)、DCK(3.85%);在 20—40 cm 土层,除对照组较播种前土壤电导率有所增加外,其他处理降低幅度依次为 DS(18.93%)、DSF(9.22%)、DC(7.55%)。

表 1 不同处理对土壤理化性质的影响

处理	土层 深度/cm	容重/(g·cm ⁻³)			孔隙度/%			pH			电导率/(mS·cm ⁻¹)		
		播种前	收获后	降低幅度/%	播种前	收获后	增加幅度/%	播种前	收获后	降低幅度/%	播种前	收获后	降低幅度/%
DCK	0—20	1.41	1.39	1.44	42.97	44.12	2.68	8.32	8.41	-1.07	1.35	1.34	0.75
	20—40	1.45	1.41	2.84	42.00	43.02	2.43	8.30	8.33	-0.36	1.20	1.23	-2.68
DSF	0—20	1.37	1.31	4.58	43.74	49.23	12.55	8.19	7.48	9.49	1.43	1.23	16.54
	20—40	1.42	1.35	4.86	43.01	45.70	6.25	8.21	7.76	5.80	1.41	1.28	9.22
DC	0—20	1.39	1.31	6.11	44.52	50.26	12.89	8.20	7.62	7.61	1.43	1.20	18.82
	20—40	1.40	1.32	6.06	44.12	50.23	13.85	8.26	8.01	3.12	1.30	1.20	7.55
DS	0—20	1.36	1.29	5.43	43.76	49.31	12.68	8.13	7.41	9.72	2.11	1.64	28.51
	20—40	1.39	1.33	4.51	43.11	46.75	8.44	8.29	7.53	10.09	2.06	1.67	18.93

2.2 不同改良剂对土壤养分性状的影响

由表 2 可知,在播种前和收获后各改良剂处理的土壤有机质含量较对照组均有所增加,收获后 0—20 cm 土层较对照组依次增加值为 DC(111.02%)、DS(45.04%)、DSF(34.62%),且均与对照组差异性达到

了显著水平($p<0.05$);在 20—40 cm 土层,DC、DS、DSF 和 DCK 处理的土壤有机质含量较播前分别增加 0.86%,0.58%,0.14%,-2.30%。

较对照相比,不同改良剂均能改善土壤碱解氮、速效磷、速效钾含量。在播种前,各改良剂处理在

0—20,20—40 cm 土层土壤碱解氮含量较对照组增加幅度为 19.95%~79.23%,其中 DS 处理的碱解氮含量最高,耕层含量达 98.20 mg/kg;在收获后,土壤碱解氮较播种前呈下降趋势,降低幅度在 20.97%~43.35%,主要由于后期灌水施肥量减少,作物生长对氮的消耗,但各改良剂处理的下降速率要慢于空白处理。土壤速效磷与土壤碱解氮呈相似规律。与对照相比,在播种前,0—20,20—40 cm 土层土壤速效磷含量增加幅度分别为 23.79%~74.76%,25.76%~65.84%,且与对照组呈显著性差异;收获后土壤速效磷含量较播种前均有所降低,降低幅度为 5.92%~

22.87%,可能是作物生长对磷的需求量增大,促进土壤有效磷的吸收,降低了土壤有效磷的含量。其中 DC 处理较对照增幅最大,增加了 81.30%。在播种前,各改良剂处理在 0—20,20—40 cm 土层较对照组显著增加了土壤速效钾含量,增幅分别为 12.58%~44.03%,14.43%~33.70%,且 DS 处理的增幅最大;在收获后,由于作物生长对土壤钾的吸收,从而减少了土壤有效钾的含量,各改良剂处理的土壤速效钾含量无显著差异,但均显著高于对照组 ($p<0.05$),DS、DC、DSF 处理耕层(0—20 cm)土壤速效钾含量分别高出对照组 16.58%,15.03%,11.60%。

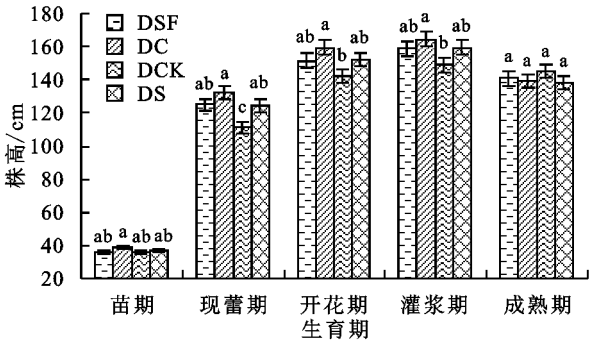
表 2 不同处理对土壤养分含量的影响

处理	土层 深度/cm	有机质/(g·kg ⁻¹)		碱解氮/(mg·kg ⁻¹)		速效磷/(mg·kg ⁻¹)		速效钾/(mg·kg ⁻¹)	
		播种前	收获后	播种前	收获后	播种前	收获后	播种前	收获后
DCK	0—20	14.77b	13.52c	54.79d	42.59d	35.89d	30.75d	452.13c	237.00b
	20—40	12.61c	12.32d	49.65d	30.41d	24.30c	20.10d	436.50c	200.30b
DSF	0—20	16.06b	18.20b	65.72c	49.09c	44.43c	40.13c	509.01b	264.50a
	20—40	13.83c	13.85c	60.93c	40.76c	30.56b	28.75b	499.50b	221.20a
DC	0—20	23.42a	28.53a	86.44b	68.31a	62.72a	55.75a	640.40a	272.61a
	20—40	20.84a	21.02a	79.56b	54.78a	40.30a	34.73a	564.11a	231.10a
DS	0—20	16.34b	19.61b	98.20a	59.61b	51.30b	45.48b	651.20a	276.30a
	20—40	15.61b	15.70b	88.47a	50.12b	39.61a	30.55b	583.61a	233.10a

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。

2.3 不同改良剂对葵花生长特性的影响

2.3.1 不同改良剂对葵花株高的影响 由图 2 可知,各处理的株高随着葵花生育过程的推进先增高后降低。在苗期,各处理葵花的株高差异不显著($p>0.05$);现蕾期葵花进入快速生长阶段,DC、DSF 和 DS 处理的株高分别较 DCK 增加 19.22%,12.76%,11.98%;在开花期,DC 处理较对照组增幅最大,增加了 12.25%;在灌浆期,各处理葵花株高均达到峰值,DC 处理显著高于 DCK,高出 10.49%;在成熟期,由于盘重越来越重,导致葵花株高下降,降低幅度为 2.48%~18.36%,各处理间无显著差异。由此可见,添加不同改良剂在一定程度上均可提高葵花的株高,改良剂中尤以生物炭对株高促进最明显。



注:图中小写字母不同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。

图 2 不同处理对葵花株高的影响

2.3.2 不同改良剂对葵花茎粗的影响 由图 3 可知,不同处理的葵花茎粗在全生育期内同株高的变化规律相似。在苗期,各改良剂处理葵花茎粗均显著高于对照组,增幅在 14.52%~32.70%;在现蕾期,葵花茎粗快速增长,DC 处理的茎粗较对照增幅最大,增加了 13.36%;从现蕾期到灌浆期葵花的茎粗增长速率比较缓慢,在灌浆期各处理的茎粗达到最大值,DC、DS 处理与对照组有显著差异,增幅分别为 16.32%,13.81%;在成熟期,由于葵花茎秆逐渐衰老退化,水分逐渐减少,导致茎粗小幅降低,DC、DS、DSF 处理较对照组分别增加 17.44%,13.61%,9.23%,且 DC、DS 处理与 DCK 差异显著。可见改良剂使用有利于葵花茎粗的增加,且生物炭对葵花茎粗的促进作用最显著。

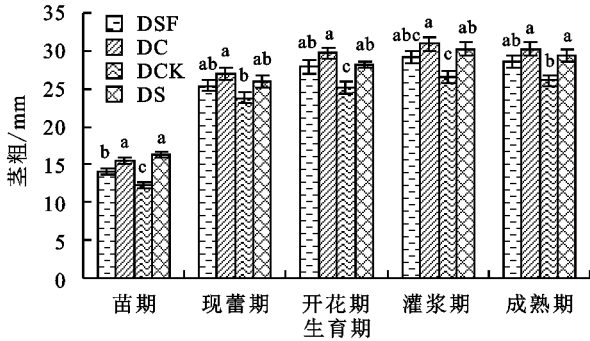


图 3 不同处理对葵花茎粗的影响

2.3.3 不同改良剂对葵花干物质积累的影响 由图

4 可知,各处理在成熟期时的干物质积累量较对照组均增加,除 DSF 处理外,DC 和 DS 处理较对照组的差异性均达到显著水平,DC、DS、DSF 处理较 DCK 分别增加 34.16%,24.01%,9.38%,DC 和 DS 处理的干物质积累量变化幅度较大,茎秆干物质质量较对照组增加 15.29%,10.90%,叶片的干物质质量较对照组增加 63.12%,27.61%,根系的干物质质量较对照组增加 26.91%,18.60%。综合分析,施加 3 种改良剂都能提高葵花的干物质积累量,一方面是由于改良剂的施入提高了土壤的养分,另一方面是由于改善了土壤的理化性状,促进葵花的生长。3 种改良剂中生物炭和脱硫石膏对干物质积累的促进更显著。

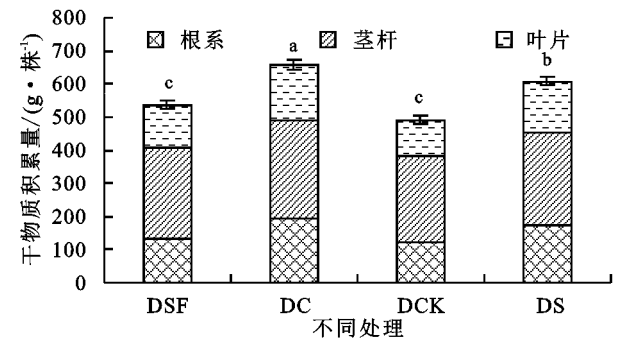


图 4 成熟期不同处理对葵花干物质积累的影响

2.4 不同改良剂对产量及其产量构成要素的影响

不同改良剂的施用,显著影响着葵花产量和产量构成(表 3)。不同改良剂处理均较对照组显著($p<0.05$)提高葵花的百粒重,其中 DC 处理的百粒重最高,较对照提高了 36.10%,其次是 DS 处理,较对照提高了 34.21%。DC 处理的葵花产量最高,比对照增加了 32.28%,DS 和 DSF 处理次之,分别比对照增加了 30.68%,26.27%。

表 3 不同改良剂对葵花产量及其构成要素的影响

产量构成因素	试验处理	百粒重/g	产量/(kg·hm ⁻²)
葵花	DCK	16.01c	3431.70b
	DSF	19.10b	4333.20a
	DS	20.76ab	4484.55a
	DC	21.79a	4539.60a

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著($p<0.05$)。

3 讨论

3.1 不同改良剂改良盐碱土理化特性的分析

土壤容重和孔隙度是土壤重要的物理性质,容重越小,孔隙度越大,土壤的通透性越好,更利于作物的生长和发育。而盐碱土由于含有大量的 Na⁺、K⁺ 等离子,遇水易板结,孔隙度低,可耕性差。本研究中,在盐渍化土壤中加入 3 种不同改良剂后,均降低了土

壤容重,增加了土壤孔隙度,其中生物炭的效果最好,主要是由于生物炭具有比表面积大、质量轻和多孔隙的特点,改善了土壤的结构,这与李倩倩等^[19]的研究结果相吻合。本试验考虑到耕作和植物根系的发达程度可能会对土壤容重和孔隙度产生影响,因此,在 2 次取样期间未进行耕作处理,并且取样点均设在距离植株 30 cm 处的植株行间,排除可能的干扰因素,则降低土壤容重和增加孔隙度均取决于不同改良剂各自的特性。

pH 和电导率是土壤的重要基础性质。生物炭能降低土壤的 pH、水溶性盐含量和其他盐分离子的含量^[20],在一定程度上可以起到改良盐土的效果;也有研究^[21]显示,生物炭可提高酸性土壤的 pH,但对碱性土壤作用不显著,本研究中生物炭处理降低了土壤 pH 和电导率,与 Van Zwieten 等^[21]研究不一致,原因可能是生物炭通过减小土壤容重,增加孔隙度,从而增强了盐分的淋洗效果,也有可能是生物炭通过提高土壤阳离子交换量^[22],使碱化度减小,降低了土壤 pH。田间试验还表明,对照组小幅度增加了土壤 pH 和电导率,说明微咸水滴灌会导致土壤 pH 和电导率增加,但施用改良剂后能不同程度地降低土壤 pH 和电导率,其中脱硫石膏的优势更加突出,收获后较播种前 0—20 cm 土层 pH 和电导率分别降低 9.72%,28.51%,20—40 cm 土层降低 10.09%,18.93%,这是由于脱硫石膏溶解产生的 Ca²⁺ 可以从盐碱土中置换出交换性 Na⁺,调节土壤离子平衡^[16]。脱硫石膏加有机肥也降低了土壤 pH 和电导率,但降低幅度较小,原因可能是两者混施与土壤反应较慢,也有研究^[23]表明,在盐碱地施用脱硫石膏改良初期效果较显著,但随着时间的推移,脱硫石膏加有机肥的作用会逐渐凸显。具体原因有待进一步研究。试验结果还表明,改良剂的改良效果随着土层深度的增加逐渐减弱。出现此现象的主要原因是由于改良剂施于土层约 20 cm 处,在 20 cm 土层以下,改良剂对土壤的改良效果逐渐减弱,这进一步说明改良剂对于盐渍化土壤理化性状改善很有帮助。

3.2 不同改良剂对盐碱土肥力特性影响的分析

土壤有机质对土壤肥力有着重要的影响,其含量的多少是评价土壤肥力的一个重要指标。于寒青等^[24]研究表明,土壤碱解氮、速效磷和速效钾是可供植物直接吸收的养分,可作为土壤肥力综合评价指标。综合分析发现,生物炭在提高土壤养分和增强土壤保肥方面效果更好,主要由于生物炭显著降低了土壤容重,增加了土壤孔隙度,改善了土壤结构,从而增

加了土壤中的养分含量。此外,生物炭含有巨大表面积和多孔结构,可以增强对土壤中氮、磷、钾等离子的吸附能力,减少其淋溶损失,这与高利华等^[25]的研究结果一致。脱硫石膏也能较好地促进土壤养分的积累,一方面是因为脱硫石膏含有大量土壤缺乏的 S、Ca、Si、Mo 等元素,可以提高土壤养分含量,另一方面也有可能是由于脱硫石膏降低了土壤盐分,改善了土壤环境,从而提高了土壤养分含量,这与李漠志等^[26]提出的施用脱硫石膏可提高有机质和有效氮磷钾含量研究结果一致。唐珖等^[27]研究指出,施用脱硫石膏可以降低盐渍化土壤 pH、EC,促进作物生长。同样,脱硫石膏加有机肥处理也能较好地改善土壤理化性状,有利于土壤养分的活化,有效提高盐碱地土壤肥力。

3.3 不同改良剂对作物生长影响的分析

改良剂的主要目的是改土培肥增产,作物生长状况和产量是衡量其改良效果的标准之一。试验结果显示,3 种改良剂均能促进作物生长,增加产量。说

明 3 种改良剂通过不同程度地改善土壤理化性状,增加土壤养分,从而促进作物的生长发育,提高作物产量。改良剂中,生物炭处理的增产效果最好,原因可能是生物炭除了改善土壤理化性质,提高土壤有效养分含量之外,还具有较强的吸附性,可以吸附固定对作物有利的元素和水分等,从而达到增产的目的。此外,本试验进行了葵花产量与生育指标和养分的相关性分析。本试验发现,产量与有机质、碱解氮、速效钾存在显著的正相关关系,与株高、茎粗呈极显著正相关关系;茎粗与有机质呈极显著的正相关关系,与碱解氮、株高呈显著正相关关系;株高与有机质、速效磷和速效钾呈显著正相关关系(表 4)。表明土壤肥力的提高对于促进作物生长和增产具有重要意义。

本试验发现,在提高葵花产量方面,各改良处理之间差异不显著,推断此现象主要与改良剂施用时间较短有关。不同改良剂是否具有长期的改良效应还要在今后的试验中进一步观察。

表 4 产量与生育指标和养分的相关分析

指标	有机质	碱解氮	速效磷	速效钾	株高	茎粗	产量
有机质	1.000						
碱解氮	0.932	1.000					
速效磷	0.951 *	0.944	1.000				
速效钾	0.956 *	0.949	0.987 *	1.000			
株高	0.965 *	0.900	0.953 *	0.989 *	1.000		
茎粗	0.996 * *	0.950 *	0.904	0.945	0.967 *	1.000	
产量	0.982 *	0.961 *	0.867	0.952 *	0.994 * *	0.995 * *	1.000

注: * * 表示在 0.01 级别(双尾)相关性显著; * 表示在 0.05 级别(双尾)相关性显著。

4 结 论

(1)施加生物炭、脱硫石膏、脱硫石膏加有机肥 3 种改良剂均有效地降低了盐渍化土壤容重、pH 和电导率,增加了土壤孔隙度和养分含量,但不同改良剂对土壤理化性质、土壤肥力的影响有所差异,与空白对照相比,生物炭在降低土壤容重、增加土壤孔隙度方面效果最佳,土壤容重最大降幅为 6.11%,土壤孔隙度最大增幅为 13.85%;脱硫石膏和脱硫石膏加有机肥对降低土壤 pH 和电导率效果较好;综合考虑改良剂对土壤有机质和速效养分含量的影响,生物炭的效果优于脱硫石膏和脱硫石膏加有机肥。

(2)通过对作物生长和产量的分析发现,3 种改良剂均可促进葵花生长,提高葵花产量。且生物炭处理产量最高,比对照组高 32.28%。综合分析,在河套灌区施入生物炭 22.5 t/hm²,对盐渍土壤改良效果最佳,其次是施入脱硫石膏 37.5 t/hm²,能有效地提高土壤肥力和葵花产量。

参考文献:

[1] 胡敏.河套灌区盐渍化土壤节水改良技术及土壤水盐运移规律研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2015.

[2] 赵文举,马宏,范严伟,等.不同覆盖模式下砂壤土水盐运移特征研究[J].水土保持学报,2016,30(3):331-336.

[3] Aragues R, Medina E T, Claveria I. Effectiveness of inorganic and organic mulching for soil salinity and sodicity control in a grapevine orchard drip-irrigated with moderately saline waters [J]. Spanish Journal of Agricultural Research,2014,12(2): 501-508.

[4] 马凤娇,谭莉梅,刘慧涛,等.河北滨海盐碱区暗管改碱技术的降雨有效性评价[J].中国生态农业学报,2011,19(2):409-414.

[5] 张金龙,闻铁,王鹏山,等.暗管排水控制区土壤盐分淋洗研究[J].水土保持学报,2014,28(5):242-246.

[6] 肖克飏,吴普特,雷金银,等.不同类型耐盐植物对盐碱土生物改良研究[J].农业环境科学学报,2012,31(12): 2433-2440.

[7] 弋良朋,王祖伟.滨海盐渍土壤中不同类型盐生植物富

- 集镉的效应[J].生态学报,2017,37(14):4656-4662.
- [8] 王睿彤,陆兆华,孙景宽,等.土壤改良剂对黄河三角洲滨海盐碱土的改良效应[J].水土保持学报,2012,26(4):239-244.
- [9] 刘易,冯耀祖,黄建,等.微咸水灌溉条件下施用不同改良剂对盐渍化土壤盐分离子分布的影响[J].干旱地区农业研究,2015,33(1):146-152.
- [10] 张密密,陈诚,刘广明,等.适宜肥料与改良剂改善盐碱土壤理化特性并提高作物产量[J].农业工程学报,2014,30(10):91-98.
- [11] 何瑞成,吴景贵.有机物料对原生盐碱地土壤生物学性质的影响[J].土壤学报,2018,55(3):774-782.
- [12] 孟凡荣,窦森,尹显宝,等.施用玉米秸秆生物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.
- [13] Bruun S, Yoshida H, Nielsen M P, et al. Estimation of long-term environmental inventory factors associated with land application of sewage sludge[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 126: 440-150.
- [14] 马锋锋,赵保卫,刁静茹,等.磁性生物炭对水体中对硝基苯酚的吸附特性[J].中国环境科学,2019,39(1):170-178.
- [15] 程镜润,陈小华,刘振鸿,等.脱硫石膏改良滨海盐碱土的脱盐过程与效果实验研究[J].中国环境科学,2014,34(6):1505-1513.
- [16] 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.
- [17] 高利华.滴灌条件下水炭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.
- [18] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,1999:25-76.
- [19] 李倩倩,许晨阳,耿增超,等.生物炭对壤土土壤容重和团聚体的影响[J].环境科学,2019,40(7):1-14.
- [20] 张雯,耿增超,陈心想,等.生物质炭对盐土改良效应研究[J].干旱地区农业研究,2013,31(2):73-77,105.
- [21] Van Zwieten L, Kimber S, Morris S, et al. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility [J]. Plant and Soil, 2010, 327(1/2):235-246.
- [22] Laird D A, Fleming P, Davis D D, et al. Impact of biochar amendment on the quality of a typical midwestern agricultural soil [J]. Geoderma: An International Journal of Soil Science, 2010, 158(3/4):443-449.
- [23] 沈婧丽.脱硫石膏改良盐碱地不同技术集成模式研究[D].银川:宁夏大学,2016.
- [24] 于寒青,孙楠,吕家珑,等.红壤地区三种母质土壤熟化过程中有机质的变化特征[J].植物营养与肥料学报,2010,16(1):92-98.
- [25] 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.
- [26] 李谟志,徐彦虎,林启美,等.燕麦与脱硫石膏对内蒙古河套地区盐渍化土壤肥力的影响[J].中国农学通报,2014,30(23):171-176.
- [27] 唐珖,张强,王斌,等.脱硫石膏改良重度苏打盐化土的环境效应[J].水土保持学报,2017,31(2):317-321.

(上接第 315 页)

- [16] 沈婧丽,王彬,田小萍,等.不同改良模式对盐碱地土壤理化性质及水稻产量的影响[J].江苏农业学报,2016,32(2):338-344.
- [17] 郑晓辉,巴特儿·巴克,李宏,等.不同灌水方式下干旱区盐碱地土壤水盐运移特征分析[J].东北农业大学学报,2011,42(5):95-99,148-149.
- [18] 刘师敏,李培贵,张振希,等.盐碱地施用脱硫废弃物对甜菜种植的影响[J].安徽农业科学,2013,41(3):1085-1087.
- [19] 邵孝候,张宇杰,常婷婷,等.生物有机肥对盐渍土壤水盐动态及番茄产量的影响[J].河海大学学报(自然科学版),2018,46(2):153-160.
- [20] 李芙蓉,杨劲松,吴亚坤,等.不同秸秆埋深对苏北滩涂盐渍土水盐动态变化的影响[J].土壤,2013,45(6):1101-1107.
- [21] 范富,徐寿军,宋桂云,等.玉米秸秆造夹层处理对西辽河地区盐碱地改良效应研究[J].土壤通报,2012,43(3):696-701.
- [22] 王旭,何俊,孙兆军,等.脱硫石膏糠醛渣对碱化盐土入渗及盐分离子的影响研究[J].土壤通报,2017,48(5):1210-1217.
- [23] 卢闯.玉米秸秆隔层对土壤溶液盐浓度与离子运动的影响[D].北京:中国农业科学院,2017.
- [24] 陈建,王文芬.滴灌条件下脱硫石膏对甘肃盐碱地的改良效果研究[J].节水灌溉,2018(5):35-38.
- [25] 刘娟,张凤华,李小东,等.滴灌条件下脱硫石膏对盐碱土改良效果及安全性的影响[J].干旱区资源与环境,2017,31(11):87-93.