

脱硫石膏与有机物料配施对河套灌区 土壤改良及向日葵生长的影响

高惠敏^{1,2}, 王相平^{2*}, 屈忠义¹, 杨劲松², 姚荣江²

(1.内蒙古农业大学 土木与水利工程学院, 呼和浩特 010018;

2.中国科学院 南京土壤研究所/土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 南京 210008)

摘要:【目的】探讨脱硫石膏与有机物料配施对河套灌区盐碱地的改良效果及向日葵生长的影响。【方法】采用田间小区试验, 试验设置对照(CK)、脱硫石膏(S)、腐殖酸(F)、黄腐酸(H)单施与脱硫石膏和腐殖酸(SF)、脱硫石膏和黄腐酸(SH)配施 6 个处理, 分别于种植前和收获后采集 0~20、20~40 cm 土样测定土壤盐分和 pH 值, 作物生育期测定作物生长指标, 收获时测定作物产量。【结果】在 0~40 cm 土层中, 5 种改良剂呈现出不同程度的抑盐效果, 其中 SF 处理降盐效果最好, 0~20、20~40 cm 土层中的盐分相对降低率分别较 CK 降低 94.30%、65.11%; H 处理降低 pH 值效果最好, 0~20、20~40 cm 土层 pH 值降低值分别较 CK 降低 0.375、0.735 个单位; SF 处理对向日葵产量增产效果最好, 较 CK 增加 51.63%。【结论】施用不同改良剂均对土壤改良及向日葵生长有一定的积极效果, 其中施用 SF 改良剂在降盐和向日葵增产效果方面均较为显著, 是河套灌区重度盐碱区较为适用的盐碱改良剂。

关键词: 脱硫石膏; 腐殖酸; 黄腐酸; 土壤改良; 盐碱地; 向日葵产量

中图分类号: S156.4⁴

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2019282

高惠敏, 王相平, 屈忠义, 等. 脱硫石膏与有机物料配施对河套灌区土壤改良及向日葵生长的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(8): 85-92.

GAO Huimin, WANG Xiangping, QU Zhongyi, et al. Combining Desulfurization Gypsum and Organic Materials to Improve Soil Quality and Sunflower Growth in Hetao Irrigation District [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(8): 85-92.

0 引言

【研究意义】土壤盐碱化已成为全球性资源和生态问题^[1]。目前, 全球盐碱化土地面积约为 9.54 亿 hm^2 , 我国盐碱化和次生盐碱化土地的总面积约为 0.35 亿 hm^2 , 占全球盐碱地总面积的 4% 左右^[2]。内蒙古河套地区位于我国干旱、半干旱地区, 属于典型的大陆性气候区, 是全国三大灌区之一^[3], 盐碱地占土地总面积近 69%^[4], 是典型的盐碱地区域。由于河套灌区降雨量少, 蒸发量大, 蒸发量是降水量的 14~16 倍, 土地平缓, 地下径流排泄不畅, 地下水埋深较浅, 且矿化度较高, 以至于土壤中积蓄大量的盐分离子^[5], 再加上不合理的灌溉导致盐碱地面积不断扩大, 严重制约着该地区农业的发展^[6]。

【研究进展】根据盐碱化土壤改良措施的性质, 可分为化学、物理、生物和综合 4 个方面^[7]。由于物理、生物、综合措施投入代价大、周期长, 在生产实践中, 应用化学改良剂是近年来研究和应用较快的主要修复措施之一^[8]。化学改良剂其作用原理是利用酸碱中和原理中和土壤中的碱^[9]。常用的化学改良材料包括含钙类物质、硫酸及硫酸盐和风化煤等有机盐^[10]。脱硫石膏的主要成分为 CaSO_4 和 CaSO_3 的混合物, 性质与天然石膏相类似, 并含有丰富植物必需或有益的矿质营养元素如 S、Ca、Si 等, 因而在土壤改良上有广泛的前景^[11]。利用脱硫石膏改良碱土是我国改良碱土的重要措施之一。罗小东等^[12]研究表明, 脱硫石膏施量为土壤钠离子量的 200% 时, 棉花的茎粗、产量和经济效益增加的最多。作为另一类在农业生产中被公认为极佳的土壤改良物料^[8], 有机物料的施加可以提高土壤肥力, 显著增加土壤有机质和土壤速效养分^[13], 同时降低硝态氮、全磷和钾离子等的径流损失, 起到保肥的作用^[14]。王长军等^[15]研究了生物有机肥、腐殖酸对水稻产量与土壤化学性质的影响, 结果

收稿日期: 2019-09-24

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0501301) 盐碱地治理的材料选择与装备和调理剂研发项目(2016YFC0501405)

作者简介: 高惠敏(1994-), 女。硕士研究生, 主要从事盐碱障碍生态消减与养分高效利用研究。E-mail: 1772811596@qq.com

通信作者: 王相平(1982-), 女。助理研究员, 主要从事盐碱地治理与修复研究。E-mail: xpwang@issas.ac.cn

表明：优化施肥+生物有机肥、优化施肥+腐殖酸处理下，水稻产量、生物产量较优化施肥处理和不施肥处理显著提高。王敏等^[16]研究表明腐殖酸表面活性剂可显著强化脱硫石膏改良油污盐碱土壤。【切入点】前人对上述单一物料的改良效果与原理进行了深入研究，但对不同物料组合使用的综合改良效果研究较少。【拟解决的关键问题】本文在前人研究的基础上，研究石膏与腐殖酸、石膏和黄腐酸不同配施对于干旱盐碱区土壤含盐量、pH 值和向日葵生长的影响，以期为该地区盐碱土治理改良提供一定的科学参考。

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镇澄泥村改盐增粮试验基地，属于温带大陆性气候，年均降雨量 138.2 mm，蒸发量 2 094.4 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，灌溉依赖黄河水，黄河水平均矿化度为 0.598 g/L，属淡水。灌区采用一年一熟制，种植作物以向日葵、玉米和春小麦为主。试验区每年在向日葵播种前和收获后进行大水漫灌压盐，受灌水影响地下水埋深波动较大。地下水位在试验期间介于 1.0~1.5 m，全年地下水埋深 1.0~3.0 m，5 月初和 10 月初地下水埋深最深，5 月中下旬和 10 月下旬灌水后最浅。地下水矿化度平均为 3.25 g/L，属微咸水，地下水盐分的化学组成主要为氯化物、重碳酸盐以及硫酸盐等。试验小区旁边设有 1.5 m 深的排水沟，进行排水排盐。试验地 0~20 cm 耕作层土壤的基本性质见表 1。土壤含盐量均值为 6.99 g/kg，pH 均值为 8.10，全氮量和有机质量均值分别为 0.83、18.03 g/kg，土壤体积质量均值为 1.52 g/cm³。表层土壤（0~20 cm）质地为粉砂壤土，深层土壤多为黏壤土。

表 1 土壤的基本性质

Table 1 Basic soil properties

处理 Treatments	含盐量/ (g kg ⁻¹) Salt content	pH 值	全氮量/ (g kg ⁻¹) Total nitrogen	有机质量/ (g kg ⁻¹) Organic matter
空白对照 (CK)	6.00	7.99	0.70	18.22
脱硫石膏 Desulphurized gypsum	7.73	8.09	0.93	17.99
腐殖酸 Humic acid	6.55	8.32	0.87	19.39
黄腐酸 Fulvic acid	7.64	8.38	1.04	19.74
脱硫石膏+腐殖酸 Desulphurized gypsum and humic acid	7.19	7.90	1.10	16.33
脱硫石膏+黄腐酸 Desulphurized gypsum and fulvic acid	6.82	8.43	0.60	16.48

1.2 供试材料选择

试验采用 3 种土壤改良剂：①腐植酸（宁夏天鑫源生物化工有限公司研制）；②黄腐酸（宁夏天鑫源生物化工有限公司研制）；③脱硫石膏。

表 2 供试材料的基本性质

Table 2 Basic properties of the tested materials

供试材料 Material	pH 值	含盐量/ (g kg ⁻¹) Salt content	全氮量/ (g kg ⁻¹) Total nitrogen	有机质量/ (g kg ⁻¹) Organic matter
腐殖酸 Humic acid	9.71	0.41	7.5	884.9
黄腐酸 Fulvic acid	7.50	0.67	115	517.2
脱硫石膏 Desulphurized gypsum	7.61	2.02	0.06	2.8

1.3 试验设计

供试作物为食葵，品种为“361”。试验设计 4 个处理，每个处理 3 个重复，小区采用随机区组排列，每个小区面积为 33.6 m²（8 m×4.2 m），向日葵播种是人工点播，行距 60 cm，株距 50 cm，种植密度为 33 000 株/hm²。试验地春灌（播前灌溉）、秋浇灌水量为当地灌水量（约 3 000 m³/hm²），整个生育期不进行灌水。底肥选用磷酸二铵，施用量为 375 kg/hm²，追肥选用尿素，施用量为 340 kg/hm²，其中现蕾期施用 240 kg/hm²，开花期施用 100 kg/hm²，常规种植处理的（CK）施肥量与改良剂处理的施肥量相同。4 月中下旬进行铺膜，每小区铺 4 膜，5 月下旬播种，9 月下旬收获。改良剂推荐用量施用见表 3。

表 3 试验处理方案

Table 3 The scheme of experimental treatments

处理 Treatments	改良剂 Amendments	施用量/(kg hm ⁻²) Application amount
CK	-	-
S	脱硫石膏	3 000
F	腐殖酸	600
H	黄腐酸	150
SF	脱硫石膏+腐殖酸	3 000+600
SH	脱硫石膏+黄腐酸	3 000+150

1.4 测定项目与方法

1) 土壤电导率和 pH 值测定：试验于 2018 年 4 月份开始，分别在种植前（4 月中下旬）和收获后（10 月上旬）采集耕层 0~20、20~40 cm 土样。其中电导率采用电导仪测定（土水比为 1:5），pH 采用 pH 计测定（土水比为 1:5）^[17]。CO₃²⁻、HCO₃⁻离子量采用双指示剂中和滴定法测定。

盐分和电导率转换关系^[18]：

$$TS=3.74 \times EC_{1:5} \quad (R^2=0.99, n=69) \quad (1)$$

盐分相对降低率计算方法如式（2）：

盐分相对降低率（%）

$$= \frac{\text{种植前土壤含盐量}-\text{收获后土壤含盐量}}{\text{种植前土壤含盐量}} \times 100. \quad (2)$$

2）向日葵株高和茎粗测定：在向日葵生育期，每个小区选定 3 株向日葵，定期采用米尺和游标卡尺分别测定其株高、茎粗和叶面积。

3）作物产量的测定：在每个试验小区随机选 3 行，每行连续取 5 株，单独收获称质量，根据如下公式计算向日葵产量。

$$\text{向日葵产量 (kg/hm}^2\text{)} = \text{单株籽粒质量 (g)} \times \text{每亩株数} \times 15/1\,000. \quad (3)$$

1.5 数据统计

采用 Excel 和 SPSS 20 统计软件对数据进行处理和分析。

2 结果与分析

2.1 不同改良剂对土壤含盐量的影响

盐分降低值为种植前与收获后土壤耕层盐分变化值。表 4 是作物种植前和收获后不同改良剂处理土壤耕层含盐量。从表 4 可以看出，在 0~20 cm 土层，除 SF 处理和 SH 处理外，其余处理较初始值盐分升高。不同处理盐分降低值由高到低排序为：SF 处理>SH 处理>F 处理>S 处理>CK>H 处理，相较于 CK，SF、SH 处理小区作物收获后土壤盐分降低明

显，其中 SF 处理盐分降低值最大，为 2.79 g/kg，其次是 SH 处理。在 20~40 cm 土层，所有处理较初始值盐分出现升高现象，除 CK 外，SF、S、SH、F 和 H 处理 20~40 cm 土层的盐分降低值均高于 0~20 cm，说明改良剂的施加一方面加速了表层土壤盐分的淋洗，另一方面也阻控了盐分的上行，以致亚表层土壤含盐量高于表层土壤含盐量，不同处理盐分降低值由高到低排序为：SF 处理>CK>SH 处理>F 处理>S 处理>H 处理，SF 处理盐分降低最多。由于不可能选择含盐量完全一致的地块，即使在同一小区内不同地点含盐量也有一定的差异。因此，用土壤含盐量相对降低量来衡量更具有可比性^[19]。在 0~20 cm 土层，盐分相对降低率从大到小为：SF 处理>SH 处理>F 处理>S 处理>H 处理>CK，SF、SH、F、S、H 处理的盐分相对降低率分别与 CK 相比降低 94.30%、84.83%、51.12%、40.08%、2.49%，其中 SF 处理降盐效果最好。在 20~40 cm 土层，盐分相对降低率从大到小为：SF 处理>CK>SH 处理>S 处理>F 处理>H 处理，SF 处理盐分相对降低率与 CK 相比，降低 65.11%，其余处理降低不明显。从 0~40 cm 土壤平均盐分量来看，各个处理的盐分相对降低率从大到小为：SF 处理>SH 处理>F 处理>S 处理>CK>H 处理，SF、SH、F、S 处理盐分相对降低率较 CK 降低 82.42%、48.01%、13.65%、9.03%。在 0~40 cm 土壤中，SF 处理降盐效果最好。

表 4 不同改良剂处理土壤含盐量

Table 4 The soil salt content of different amendments

项目 Items	土层深度/cm Soil depth	CK	S 处理	SF 处理	SH 处理	F 处理	H 处理
种植前/(g kg ⁻¹) Before plant	0~20	6.00	7.73	7.19	6.82	6.55	7.64
	20~40	4.07	5.60	4.91	4.21	4.19	4.00
收获后/(g kg ⁻¹) After harvest	0~20	9.33	9.98	4.40	4.82	7.56	11.69
	20~40	7.30	10.83	5.61	8.10	8.71	13.02
盐分降低值/(g kg ⁻¹) Salt reduction value	0~20	-3.33	-2.25	2.79	2.00	-1.01	-4.05
	20~40	-3.23	-5.22	-0.70	-3.88	-4.52	-9.02
盐分相对降低率/% Belatiue salt reduction rate	0~20	-55.5	-29.11	38.80	29.30	-15.42	-53.01
	20~40	-79.40	-93.21	-14.29	-92.18	-107.88	-225.5

表 5 不同改良剂处理土壤 pH 值

Table 5 Soil pH values of different amendments

项目 Items	土层深度/cm Soil depth	CK	S 处理	SF 处理	SH 处理	F 处理	H 处理
种植前 Before plant	0~20	7.99	8.09	7.90	8.43	8.32	8.38
	20~40	8.00	8.28	7.99	8.67	8.25	8.41
收获后 After harvest	0~20	7.93	7.90	7.78	8.38	8.39	7.94
	20~40	8.12	8.01	8.09	8.34	8.16	7.79
pH 降低值 pH reduction value	0~20	0.065	0.185	0.120	0.055	-0.07	0.44
	20~40	-0.115	0.265	-0.095	0.327	0.09	0.62

2.2 不同改良剂对土壤 pH 值的影响

pH 值降低值为种植前与收获后土壤耕层 pH 值变化值。表 5 是种植前和收获后的耕层土壤 pH 值的变化,从表 5 可以看出,在 0~20 cm 土层中,各个处理 pH 值降低效果排序为: H 处理>S 处理>SF 处理>CK>SH 处理>F 处理, H、S、SF 处理 pH 降低值分别较 CK 降低 0.375、0.12 和 0.055,其中 H 处理 pH 值降低效果最好,是因为黄腐酸改良剂与土壤中的各组分发生多种物理、化学作用,从而改善土壤的物理性能,影响并改变土壤的碱性^[20],其次是 S 处理,SH 处理和 F 处理降低 pH 值效果不明显。在 20~40 cm 土层中,各个处理 pH 值降低效果排序为: H 处理>SH 处理>S 处理>F 处理>SF 处理>CK,各处理 pH 值降低值分别较 CK 降低 0.735、0.442、0.205、0.38、0.02, H 处理降低 pH 值效果最好,其次是 SH 处理。从 0~40 cm 土层看, H 处理在降低土壤 pH 值效果最好,其次为 S 处理,与初始值相比分别降低 0.265 和 0.23。

2.3 不同改良剂对向日葵生长的影响

图 1 为不同处理向日葵株高。从 6 月 16 日测定结果来看,株高从大到小排列为: SF 处理>CK>SH 处理>F 处理>S 处理>H 处理, SF 处理株高最高,为 13.56 cm,除 SF 处理外,其余处理之间差异不显著;从 6 月 26 日测定结果来看,株高从大到小排列为: SF 处理>S 处理>F 处理>CK>H 处理>SH 处理, SF 处理株高最高,其次为 S 处理, SF、S 处理较 CK 株高分别增加 14.5%和 4.3%,除 SF 处理外,其余处理差异性不显著 ($p<0.05$);从 7 月 28 日和 8 月 20 日测定结果来看,各处理向日葵株高变化趋势与 6 月 26 日测定结果变化趋势基本一致,均是 SF 处理株高最高,与 CK 相比 2 次测定结果株高分别增加 11.6%、11.9%,从 2 次测定结果看, SF 处理与其他处理差异性显著, CK、SH、F、H 处理差异性不显著。4 次测定结果均以 SF 处理向日葵株高最高。

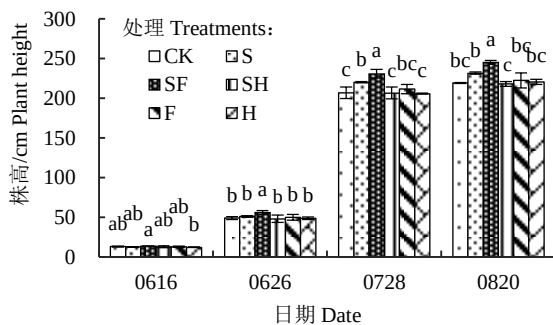


图 1 不同改良剂处理向日葵株高

Fig.1 The sunflower plant height of different amendments

图 2 为不同处理向日葵茎粗。从 6 月 16 日测定结果看,茎粗从大到小排列为: SF 处理>CK>S 处理>SH 处理>H 处理>F 处理, SF 处理茎粗最大,除

SF 处理外,其余处理差异性不显著;从 6 月 26 日测定结果看,茎粗从大到小排列为: SF 处理>S 处理>F 处理>H 处理>CK>SH 处理, SF 处理茎粗最大,其次为 S 处理, SF、S、F、H 处理差异性不显著;从 7 月 28 日测定结果看, SF、S、H、F、SH 处理茎粗均比 CK 大,其中 F 处理茎粗最大,其次是 SF 处理,除 CK 外,其余处理之间差异性不显著;从 8 月 20 日测定结果看, F 处理茎粗最大,其次为 SF 处理, SH 处理和 S 处理较 CK 效果不明显, SF 处理和 F 处理之间差异性不显著。在 6 月 26 日之前 2 次测定结果均以 SF 处理向日葵茎粗最大,较 CK 茎粗分别增加 9.84%、14.73%;在 7 月 28 日之后, F 处理向日葵茎粗最大,较 CK 茎粗分别增加 10.69%、9.74%,与 SF 处理之间无显著性差别。

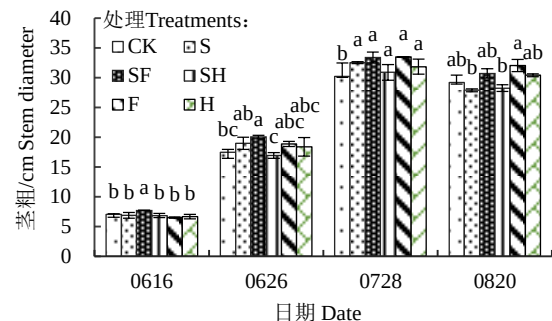


图 2 不同改良剂处理向日葵茎粗

Fig.2 The stem diameter of sunflower of different amendments

图 3 为不同处理向日葵叶面积。从 6 月 16 日、26 日测定结果看, SF 处理叶面积最大,分别较 CK 增加 15.65%、15.62%, SF 处理与 CK 之间差异性不显著;从 7 月 28 日测定结果看, S 处理叶面积最大,其次是 SF 处理, S 处理和 SF 处理差异性不显著;从 8 月 20 日测定结果来看, F 处理叶面积最大,其次是 SF 处理。从 4 次测定结果看,除 SH、H、F 处理外,施用改良剂处理的小区向日葵叶面积均大于 CK, SF、F、S 处理增加叶面积效果最好。

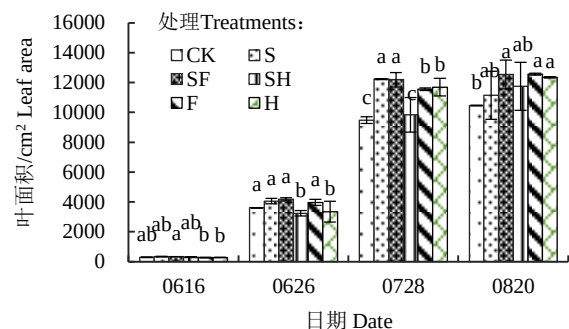


图 3 不同改良剂处理向日葵叶面积

Fig.3 The sunflower leaf area of different amendments

图 4 为各试验处理产量。从图 4 可以看出,施用改良剂后,向日葵产量都显著高于 CK。不同改良剂

处理向日葵产量由高到低为：SF 处理>F 处理>S 处理>H 处理>SH 处理>CK，其中施用 SF 处理增产效果最明显，产量为 4.29 t/hm²，其次是 F 处理，产量为 4.16 t/hm²，SF 处理和 F 处理之间差异性不显著（ $p<0.05$ ）。SF、F、S、H、SH 处理向日葵产量分别较 CK 增加 51.63%、47.00%、33.95%、27.91%和 22.79%。

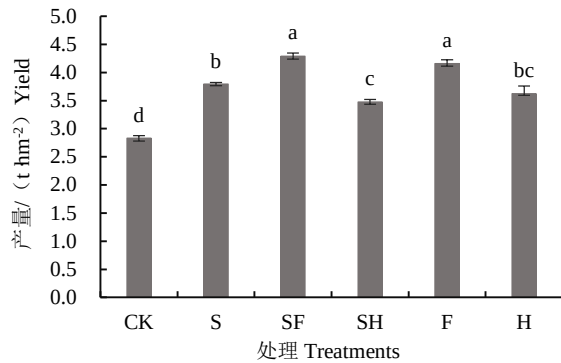


图 4 向日葵产量
Fig.4 Yield of sunflower

3 讨论

3.1 改良剂对河套灌区盐分和 pH 值的影响

从收获后土壤耕层盐分比较得知，各改良剂处理下土壤盐分相对降低率与 CK 相比均升高，说明所选

取的改良剂能够有效地改良河套灌区盐碱地。其中 SF 处理降低盐分效果最好，比单施 S 处理效果好，是因为一方面腐殖酸和石膏配施可加大石膏的溶解量，进而提升 Na⁺置换能力，强化石膏改良盐碱土效果，另一方面腐殖酸和脱硫石膏配施更好改善土壤理化性质，有利于土壤盐分淋洗^[21-22]。以往研究表明，腐殖酸和石膏配施较单施处理在降低盐分方面效果显著^[21-23]，本试验与其研究结果相一致。在 0~20 cm 土层中，单施 H 处理和 S 处理较 SF、SH 处理降低 pH 效果好，而单施 F 处理却不如 SF、SH 处理降低 pH 效果好；在 20~40 cm 土层中，F、H、SH 和 S 处理与初始土壤相比 pH 降低，SF 处理较初始值 pH 出现升高。除 SF 处理外，F、H、SH 和 S 处理 0~20 cm 土层 pH 值降低值小于 20~40 cm 土层，且 0~20 cm 土壤中 HCO₃⁻离子（试验基地碱性离子以 HCO₃⁻为主，CO₃²⁻量极少，可忽略 CO₃²⁻量）前后差值小于 20~40 cm（表 6），说明施入 SH 处理和 S 处理土壤中 CO₃²⁻、HCO₃⁻出现表聚现象，而 SF 处理阻控了 CO₃²⁻、HCO₃⁻离子的上行。SF 处理在降低 pH 值方面效果不如单施 S 处理、F 处理，这与周阳等^[24]和王丹等^[25]研究的施加脱硫石膏和腐殖酸处理在降低土壤 pH 值方面优于单施处理的结果不一致。

表 6 不同改良剂处理对土壤 HCO₃⁻离子的影响

Table 6 Effects of different amendments on HCO₃⁻ ions of soil

项目 Items	土层深度/cm Soil depth	CK	S 处理	SF 处理	SH 处理	F 处理	H 处理
种植前 Before planting	0~20	1.037	0.854	0.712	0.885	0.976	1.220
	20~40	0.915	0.671	0.834	0.976	0.732	1.098
收获后 After harvest	0~20	0.610	0.610	0.488	0.488	0.610	0.488
	20~40	0.793	0.599	0.366	0.723	0.488	0.610
HCO ₃ ⁻ 离子前后差值	0~20	0.427	0.244	0.224	0.397	0.366	0.732
HCO ₃ ⁻ difference before and after	20~40	0.122	0.072	0.468	0.253	0.244	0.488

3.2 改良剂对向日葵生长的影响

研究表明，腐殖酸改良剂具有吸附和代换作用，提高土壤中保氮、解磷、活钾及微量元素的有效性等功效，为作物增产提供更多的养分来源^[26-27]，石膏改良剂中 Ca²⁺置换出土壤胶体中危害更大的 Na⁺，有利于土壤盐分淋洗，二者配施更能提升土壤的脱盐率，有利于提高土壤养分利用效率。无论是单独施用脱硫石膏改良剂还是脱硫石膏和腐殖酸、脱硫石膏和黄腐酸改良剂二者配施的施用，均降低了土壤盐分量，进而促进了向日葵株高、茎粗和叶面积的生长，提高了产量。以产量为例，产量与种植前和收获后盐分平均值呈中度的线性负相关关系

（ $r=-0.429$ ， $n=12$ ），即产量随着盐分的减少而增加。本研究表明，增产效果最好的是 SF 处理，显著提高向日葵产量，较对照组增产 51.63%。这与周阳等^[24]研究一致。孙在金等^[28]通过盆栽和田间试验证明，施用脱硫石膏和腐殖酸能够显著改善土壤理化性能，调节土壤中的离子平衡，减少单盐毒害，缓减生理干旱，对植物生长起到促进作用。张伶俐等^[8]在山东乐陵地区进行试验得出，脱硫石膏与腐殖酸 1：1 组合（腐殖酸施用量为 225 kg/hm²，脱硫石膏施用量为 225 kg/hm²）可以使土壤活性钠离子降低，速效钾含量显著提高，实现玉米增产 40%。

4 结 论

1) 在盐分降低率方面, SF 处理降盐效果最好, 0~20 cm 土层中, SF 处理降低率较对照组降低 94.30%, 20~40 cm 土层中, SF 处理降低率与对照组降低 65.11%; 在降低 pH 值方面, 0~40 cm 土层中, H 处理降低效果最好。

2) 各盐碱改良剂处理均可促进向日葵生长, 提高向日葵产量。综合分析各试验处理向日葵株高、茎粗、叶面积和产量, 得到石膏和腐殖酸组合施用增产效果最好。

3) 腐殖酸和脱硫石膏组合具有较佳的土壤改良效果, 是适宜于河套灌区盐碱土的最佳改良剂, 腐殖酸施用量为 600 kg/hm², 脱硫石膏施用量为 3 000 kg/hm²。

参考文献:

- [1] 张先富. 苏打盐碱土对氮转化影响实验研究[D]. 长春: 吉林大学, 2011.
ZHANG Xianfu. Effects of saline-alkali soil on nitrogen transformations[D]. Changchun: Jilin University, 2011.
- [2] 张建锋, 张旭东, 周金星, 等. 世界盐碱地资源及其改良利用的基本措施[J]. 水土保持研究, 2005, 12(6): 28-30, 107.
ZHANG Jianfeng, ZHANG Xudong, ZHOU Jinxing, et al. World resources of saline soil and main amelioration measures[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2005, 12(6): 28-30, 107.
- [3] 郝芳华, 欧阳威, 岳勇, 等. 内蒙古农业灌区水循环特征及对土壤水运移影响的分析[J]. 环境科学学报, 2008, 28(5): 825-831.
HAO Fanghua, OUYANG Wei, YUE Yong, et al. Analysis of water cycle characteristics and soil water movement in the agricultural irrigation area in Inner Mongolia[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2008, 28(5): 825-831.
- [4] 黄权中, 徐旭, 吕玲娇, 等. 基于遥感反演河套灌区土壤盐分分布及对作物生长的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34(1): 102-109.
HUANG Quanzhong, XU Xu, LYU Lingjiao, et al. Soil salinity distribution based on remote sensing and its effect on crop growth in Hetao Irrigation District[J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34(1): 102-109.
- [5] 赵永敢. “上膜下秸”调控河套灌区盐渍土水盐运移过程与机理[D]. 北京: 中国农业科学院研究生院, 2014.
ZHAO Yonggan. The process and mechanism of integrated effects of plastic mulch and buried straw layer on soil water and salt movement in the Hetao irrigation district[D]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014.
- [6] 景宇鹏, 段玉, 妥德宝, 等. 河套平原弃耕地土壤盐碱化特征[J]. 土壤学报, 2016, 53(6): 1 410-1 420.
JING Yupeng, DUAN Yu, TUO Debao, et al. Characteristics of salinization of deserted farmland in Hetao plain, China[J]. Acta Pedologica Sinica, 2016, 53(6): 1 410-1 420.
- [7] CLARK R B, RITCHEY K D, BALIGAR V C. Benefits and constraints for use of FGD products on agricultural land[J]. Fuel, 2001, 80(6): 821-828.
- [8] 张伶俐, 陈广锋, 田晓红, 等. 盐碱土石膏与有机物料组合对作物产量与籽粒养分含量的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(12): 12-17.
ZHANG Lingbo, CHEN Guangfeng, TIAN Xiaohong, et al. Effect of combined application of gypsum and organic materials on crop yield and grain nutrient content in saline-alkali soil[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(12): 12-17.
- [9] 李颖, 陶军, 钞锦龙, 等. 滨海盐碱地“台田-浅池”改良措施的研究进展[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(5): 154-160, 167.
LI Ying, TAO Jun, CHAO Jinlong, et al. Research progress of improving measures of raised field-shallow pool for coastal saline-alkaline land[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2014, 32(5): 154-160, 167.
- [10] 马巍, 王鸿斌, 赵兰坡. 不同硫酸铝施用条件下对苏打盐碱地水稻吸肥规律的研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(12): 31-35.
MA Wei, WANG Hongbin, ZHAO Lanpo. Research on soda saline-alkali soil rice absorb fertilizer rule in conditions of different aluminum sulfate apply[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(12): 31-35.
- [11] 张灵, 白中科, 景明, 等. 黄土区大型露天煤矿复垦排土场植被恢复立地类型划分: 以安太堡露天煤矿为例[J]. 水土保持研究, 2014, 21(6): 54-60.
ZHANG Ling, BAI Zhongke, JING Ming, et al. Type classification for vegetation restoration on dump of large opencast coal-mine in loess area—taking antaibao opencast coal-mine as an example[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2014, 21(6): 54-60.
- [12] 罗小东, 王全九, 谭帅, 等. 基于土壤钠离子含量的不同施用量石膏改良剂的改良效果[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(1): 2-5.
LUO Xiaodong, WANG Qianjiu, TAN Shuai, et al. The effect of gypsum improver based on Na⁺ concentration in soil[J]. Agricultural research in the arid areas, 2016, 34(1): 2-5.
- [13] 徐锴, 张少瑜, 袁继存, 等. 地膜和秸秆覆盖对梨园土壤养分的影响[J]. 浙江农业学报, 2017, 29(3): 421-427.
XU Kai, ZHANG Shaoyu, YUAN Jicun, et al. Effects of plastic film and straw mulching on soil nutrients of pear orchard[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2017, 29(3): 421-427.
- [14] 任江波, 李钠钾, 秦平伟, 等. 不同覆盖材料对土壤理化性状和微生物量碳氮含量的影响[J]. 西南农业学报, 2018, 31(10): 2 140-2 145.

- REN Jiangbo, LI Najia, QIN Pingwei, et al. Effect of different mulching materials on physical and chemical characteristics of soil and microbial biomass[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2018, 31(10): 2 140-2 145.
- [15] 王长军, 王肇陟, 王世荣. 生物有机肥、腐殖酸对水稻产量和土壤化学性质的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(1): 93-95.
- WANG Changjun, WANG Zhaozhi, WANG Shirong. Effects of bio-organic fertilizer and humic acid on rice yield and soil chemical properties [J]. Jiangsu Agricultural Science, 2016, 44(1): 93-95.
- [16] 王敏, 刘永民. 腐殖酸强化脱硫石膏改良油污盐碱土壤的研究[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(2): 131-133, 139.
- WANG Min, LIU Yongmin. Effect of humic acid on improving oil contaminated saline-alkali soil[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2010, 29(2): 131-133, 139.
- [17] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- LU Rukun. Soil chemistry analysis method for soil agriculture[M]. Beijing: China Agriculture Sciencetech Press, 2000.
- [18] 陶健宇. 河套灌区盐渍农田氮素迁移转化特征与养分研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2019.
- TAO Jian-yu. Study on Characteristics of Nitrogen Transport and Transformation in Saline Farmland in Hetao Irrigation District [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2019.
- [19] 张凌云, 赵庚星, 徐嗣英, 等. 滨海盐渍土适宜土壤盐碱改良剂的筛选研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 21-23, 28.
- ZHANG Lingyun, ZHAO Gengxing, XU Siying, et al. Filtration of suitable saline-alkali soil amendments on coastal saline soil[J]. Journal of Soil Water Conservation, 2005, 19(3): 21-23, 28.
- [20] 杨宇, 金强, 卢国政, 等. 生化黄腐酸土壤改良剂对盐碱菜田土壤改良效果研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(4): 1 931-1 932.
- YANG YU, JIN Qiang, LU Guozheng, et al. Effect of the soil modifier of biochemical fulvic acid on saline land[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(4): 1 931-1 932.
- [21] 岳殷萍, 李虹谕, 张伟华. 脱硫石膏与腐殖酸改良盐碱土的效果研究[J]. 内蒙古科技与经济, 2016(14): 85-87, 89.
- YUE Yin-ping, LI Hon-gshi, ZHANG Weihua. Effect of desulfurization gypsum and humic acid on saline-alkali soil [J]. Inner Mongolia Science Technology & Economy, 2016(14): 85-87, 89.
- CIARKOWSKA K, SOLEK-PODWIKA K, FILIPEK-MAZUR B, et al. Comparative effects of lignite-derived humic acids and FYM on soil properties and vegetable yield [J]. Geoderma, 2017, 303: 85-92.
- [22] 王晓洋, 陈效民, 李孝良, 等. 不同改良剂与石膏配施对滨海盐渍土的改良效果研究[J]. 水土保持通报, 2012, 32(3): 128-132.
- WANG Xiaoyang, CHEN Xiaomin, LI Xiaoliang, et al. Improvement effects of combined application of different amendments and gypsum on a coastal saline soil[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2012, 32(3): 128-132.
- [23] 周阳. 脱硫石膏与腐殖酸改良盐碱土效果研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2016.
- ZHOU Yang. Research on effects of desulfurization gypsum and humic acid on saline soil improvement[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2016.
- [24] 王丹, 黄超, 李小东, 等. 脱硫石膏配施不同量有机物料对盐碱土壤改良效果及作物产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(1): 34-40.
- WANG Dan, HUANG Chao, LI Xiaodong, et al. Effects of different amount of organic materials combined with desulfurized gypsum on soil improvement and crop yield in saline-sodic soil[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2019, 37(1): 34-40.
- [25] 熊顺贵. 基础土壤学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2001: 81-87.
- XIONG Shungui. Basic soil science[M]. Beijing: China Agricultural university Press, 2001: 81-87.
- [26] 刘伟, 刘景辉, 萨如拉, 等. 腐植酸水溶肥料对燕麦叶片保护酶活性和渗透物质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2014, 33(1): 107-109.
- LIU Wei, LIU Jinghui, SA Rula, et al. Effect of humic acid water-soluble fertilizer on oat leaf protective enzyme activities and osmoregulation substances content[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2014, 33(1): 107-109.
- [27] 孙在金. 脱硫石膏与腐殖酸改良滨海盐碱土的效应及机理研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 2013.
- SUN Zaijin. Research on effects and the mechanism of desulfurization gypsum and humic acid on coastal saline-alkali soil improvement[D]. Beijing: China University of Mining & Technology, Beijing, 2013.

Combining Desulfurization Gypsum and Organic Materials to Improve Soil Quality and Sunflower Growth in Hetao Irrigation District

GAO Huimin^{1,2}, WANG Xiangping^{2*}, QU Zhongyi¹, YANG Jingsong², YAO Rongjiang²

(1.College of Civil and Water Conservancy Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;

2.State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science,

Chinese Academy of Science, Nanjing 210008, China)

Abstract: **【Background】** Soil salinization is a global concern affecting agricultural productions in almost every country. There are approximately 9.54 million hm^2 of salt-affected lands in the world, 4% of which, 0.35 million hm^2 , are in China. Hetao Irrigated District, located in an arid and semiarid area in Inner Mongolia, is one of the three major irrigation areas in China. It is deluged by soil salinity due to the double whammy of scarce rainfall and large evaporation, which is further aggravated by poor drainage and irrigation management and shallow groundwater. Apparently, approximately 69% of soils in the district are saline-alkali, hampering its agricultural development. Remediating the saline-alkali soils is thus urgently needed. **【Objective】** The purpose of this paper is to present an experiment study aimed to test the efficacy of using desulfurization gypsum and organic matters to improve soil quality and sunflower growth. **【Method】** The experimental site was located in Hang Jin Hou with a typical temperate continental climate. There was one harvest a year and planted mainly with sunflower, corn or spring wheat. The experimental area was flooding-irrigated prior to sowing and after harvest, respectively. During the experiment, the depth of groundwater level varied between 1.0 m and 1.5 m while the annual groundwater table depth is in 1.0 to 3.0 m. We compared five treatments: Application of desulphurized gypsum (S), humic acid (H) and fulvic acid (F) in isolation, application of desulphurized gypsum and humic acid (SF), desulphurized gypsum and fulvic acid (SH) in combination. Without soil amendment was taken as the control (CK). In each treatment, soil samples were taken from 0~20 cm and 20~40 cm soil layers prior to sowing and after harvest, respectively, to measure salt content and soil pH. Plant growth indexes and grain yield were also measured. **【Result】** All treatments reduced salt content in the 0~40 cm soil although the reduction varied with treatments. SF was most effective in ameliorating salt accumulation, reducing salt content in 0~20 cm and 20~40 cm soil layers by 94.3% and 65.11% respectively, compared with the CK. The H treatment affected soil pH most, reducing its value in 0~20 cm and 20~40 cm soil layers by 0.375 and 0.735, respectively, compared with the CK. SF significantly increased grain yield by 51.63% compared to the CK. **【Conclusion】** Amending soil with all five improvers had a positive effect on soil quality and sunflower growth, with SF amendment most effective in reducing salt content and improving grain yield.

Key words: desulfurization gypsum; humic acid; fulvic acid; soil improvement; saline-alkali soil; sunflower yield

责任编辑: 白芳芳