DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2017.04.020

河套灌区中度盐渍化土壤改良产品筛选研究①

刘瑞敏[1]，杨树青[1*]，史海滨[1]，梁建财[1,2]

(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 山西农业大学资源环境学院，山西太谷 030801)

摘 要：为寻求适宜内蒙古河套灌区中度盐渍化土壤改良产品，选择了具有代表性的 4 种土壤改良剂和 3 种抗盐碱专用肥，通过田间及室内试验研究施用各土壤改良产品对土壤含盐量、土层贮盐量及油葵产量构成等因素的影响。结果表明：施用各种土壤改良产品处理均显著优于对照处理；其中抗盐碱专用肥在提高作物出苗率、保苗率及增产方面占优，而土壤改良剂在土壤脱盐及降低土壤碱性方面更具优势；在各种改良产品中丹路菌肥(T5 处理)在提高葵花出苗率、保苗率及增产方面效果最佳，在土壤脱盐及降低土壤碱性方面也较为突出；磷石膏(T1)处理在土壤脱盐及降低土壤碱性方面效果最佳，故将丹路菌肥和磷石膏作为本研究筛选结果，建议在盐渍化土壤改良中推广使用。

关键词：河套灌区；中度盐渍化；土壤改良剂；抗盐碱专用肥；筛选试验

中图分类号：S156 文献标识码：A

土壤盐渍化不仅是我国也是世界性耕地面临的问题[1]。据统计，全球盐渍化的土地面积大约有 9.5×10^8 hm^2，其中我国约有 2.7×10^7 hm^2[2]。内蒙古河套灌区是我国 3 个特大型灌区之一，也是国家和自治区重要的商品粮、油、糖生产基地。由于该灌区受气候和多年来灌排条件等因素的影响，造成土壤盐渍化及次生盐渍化比较严重，是我国土壤盐渍化发育的典型地区[3]。土壤盐渍化严重地影响作物的生长和发育，阻碍农业发展，对该地区盐渍化土壤进行改良已是农业可持续发展的首要任务。

近年来，人们开始探索使用不同方法对盐渍化耕地进行改良，主要的改良措施有生物措施、工程措施、农业措施、化学措施等。生物措施[4-5]如调整农业结构、合理布局作物、种植耐盐品种等，在一定程度上可以抵抗土壤盐渍化给农业带来的危害，但只是在土壤盐渍化的背景下提高经济效益，不能从根本上改变土壤的盐渍化状况。工程措施[6-7]如灌溉洗盐，对氯化物盐土、硫酸盐氯化物盐土有效，对碱土的改良效果不明显，而河套地区土壤总是盐碱相伴而生，灌水洗盐不能够彻底解决盐碱地的问题，且目前灌区排水系统坍塌淤堵严重，导致排水不畅，地下水位抬高，造成盐分随水上移，积于表面。加之引黄水量减少，在该地区已不能利用单一的灌水洗盐方法，需要配合其他措施。农业措施如土地平整、深耕深翻、客土压盐、压砂改良等，虽然能有效地改善土壤环境，但是存在没有彻底消除盐分、工程量大及实施难等缺点，不易推广。而化学措施如施用土壤改良剂，其作用原理是改变土壤胶体的吸附性离子的组成，能够彻底地消除土壤中的盐分和交换性 Na^+，从而改善土壤的理化性质，土壤改良剂还有见效快、实施方便等特点，是一种理想的盐碱地改良措施。

土壤改良剂作为一种比较新型的改良手段，成为研究的热点。采用不同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[8,18]，结果表明施用土壤改良剂能够有效地改善土壤理化性状和土壤养分状况，并且对土壤微生物产生积极的影响，从而改善土壤状况，提高土壤生产力，是一种有效的方法。但对于市面上种类层出不穷的土壤改良剂，其改良机理是不同的[19,21]，针对性也不同，本文主要针对内蒙古河套灌区盐渍化土壤的特点，分别研究了 7 种不同土壤改良产品对农田土壤环境及指示作物生长的影响，筛选出适宜该地区的土壤改良产品。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2010 年 4 月—2011 年 10 月在内蒙古河

①基金项目：国家自然科学基金项目(51669019、51539005)和“十三五”国家重点研发计划项目(2016YFC0400205-03)资助。

* 通讯作者(nmndysq@126.com)

作者简介：刘瑞敏(1987—)，男，内蒙古呼和浩特人，博士研究生，主要从事盐碱地改良研究。E-mail：nmglrm@126.com

套灌区解放闸灌域沙壕渠试验站光荣二队试验区进行，地处内蒙古自治区巴彦淖尔市中西部，地理坐标为 107°10′E，40°55′N，属温带大陆性气候。年降水量为 139 ~ 222 mm；年蒸发量达 2 200 ~ 2 400 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；年日照时数 3 220 h 以上，积温 3 520℃以上；地下水埋深 0.9 ~ 2.6 m。地质构造属封闭式的断陷盆地，土壤母质含盐。试验区土壤属于中盐[22]重碱[23]型土壤，基础状况见表 1、表 2。

表 1　供试土壤基本物理性质
Table 1　Basic physical properties of different layers of tested soil

土层深度	体积质量	颗粒物质量分数 (%)		
		砂粒	粉粒	黏粒
0 ~ 20	1.673	30.95	63.91	5.14
20 ~ 40	1.552	8.92	85.76	5.32
40 ~ 60	1.573	19.35	77.68	2.97
60 ~ 80	1.532	17.90	79.87	2.23
80 ~ 100	1.524	21.18	75.68	3.15

表 2　供试土壤基本化学性质
Table 2　Basic chemical properties of tested soil

全氮 (g/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	pH	全盐含量 (g/kg)	CO_3^{2-} (g/kg)	HCO_3^- (g/kg)	Cl^- (g/kg)	SO_4^{2-} (g/kg)	Ca^{2+} (g/kg)	Mg^{2+} (g/kg)	Na^++K^+ (g/kg)
1.08	57.39	371.00	9.18	5.6	0.15	0.82	1.07	0.62	0.04	0.07	1.36

注：表中数据为播前土样测试结果。

1.2　试验设计

试验施用的土壤改良剂为磷石膏、ORYKTA、DS-1997、康地宝，抗盐碱专用肥有丹路菌肥、和庄幸福肥、那氏齐齐发(又称那氏 778)。供试作物为油葵，品种‘康地 T562’。试验设置 8 个处理，其中 1 个为对照，设 3 次重复，小区采用随机区组排列。试验小区面积 18 m^2，各小区四周埋 1 m 深防渗膜，并留 80 cm 宽过道作为隔离带且为采样所用。试验春灌(播前灌溉)、秋浇灌水量为当地灌水量，生育期灌水 90 mm。底肥选用磷酸二铵，用量 450 kg/hm^2。5 月 25 日土壤墒情适宜时种植，种植密度 62 505 株/hm^2。土壤改良剂及抗盐碱专用肥参考已有研究成果及推荐用量施用(表 3)。

表 3　试验处理方案
Table 3　Experimental treatments

处理编号	改良剂(专用肥)	施用量(kg/hm^2)	处理编号	改良剂(专用肥)	施用量(kg/hm^2)
T1	磷石膏	22 500	T5	丹路菌肥	600
T2	ORYKTA	1 500	T6	和庄幸福肥	120
T3	DS-1997	2 250	T7	那氏齐齐发	5
T4	康地宝	60	T8	CK	–

1.3　样品采集与处理

5 月 23 日播种前在试验田两条对角线上取 5 点样，深度 100 cm，分层取样，0 ~ 10、10 ~ 20 cm，以下每 20 cm 一层取土样。9 月 28 日收获后各小区取土样测试，取土深度及分层同上。葵花成熟收获时进行考种，各小区单打单收。

1.4　测试指标与方法

土壤全盐含量采用重量法测定，水土比为 5∶1；pH 测定采用雷磁牌酸度计测定，水土比为 5∶1。选取各处理中长势均匀具有代表性的连续 10 株进行产量结构分析，包括百粒重、产量和葵花干物质量。

1.5　数据处理

土壤盐分贮量采用(1)式计算，

$$S = 10\sum_{i=1}^{n} z_i \rho_i SC_i \quad (1)$$

式中：S 为土层内的盐分贮量(g/m^2)，既每平米 z 厚度的土柱所含盐分的克数；i 为土层号；n 为土层数；z_i 为第 i 层土壤的厚度(cm)；ρ_i 为相应土层体积质量(g/cm^3)；SC_i 为相应土层含盐量(g/kg)。

土壤脱盐率采用(2)式计算，

$$\mathrm{SDR} = \left(S_{\mathrm{CK}} - S_{\mathrm{T}}\right) / S_{\mathrm{CK}} \quad (2)$$

式中：SDR 为土壤脱盐率(%)；S_{CK} 为对照土壤盐分贮量(g/m^2)，S_{T} 为改良处理土壤盐分贮量(g/m^2)。

土壤 pH 变化率(%)与土壤脱盐率的计算方法相同。本文均采用作物生育期结束后土壤含盐量及 pH 进行计算。试验数据采用 Excel 2003 和 SPSS 19.0 软件进行统计分析，数据多重比较采用 LSD 法。

2　结果与分析

2.1　不同处理土壤化学特性垂直分布

2.1.1　土壤盐分垂直分布　　图 1 为作物生育期结束后土壤垂直剖面含盐量分布结果。T1 ~ T7 处理比

对照 T8 土壤平均含盐量分别降低了 44.23%、33.40%、18.58%、23.09%、42.96%、31.58% 和 19.60%，其中，T1 在 0 ~ 100 cm 土层内平均含盐量最少，为 1.26 g/kg，T5 处理的含盐量也较少，为 1.29 g/kg，二者无显著差异。在土壤表层 0 ~ 10 cm 内，T1 和 T2 处理最佳，土壤含盐量均为 1.10 g/kg，T5 次之，为 1.30 g/kg。从 60 cm 开始向下土壤含盐量逐渐增加，80 cm 以下土壤中含盐量较对照高，是因为土壤改良剂及抗盐碱专用肥使土壤结构得到了改善，增强了土壤的通透性和透水性，减少了地表径流，土壤表层盐分被迫向下运移，被淋洗到深层土壤。各处理包括对照 T8 处理在 0 ~ 100 cm 的各土层内土壤含盐量都比改良前有明显降低，说明土壤含盐量的降低不仅是各种土壤改良剂和抗盐碱专用肥改良的结果，作物生育期内灌水和降雨的淋洗也起了重要作用。

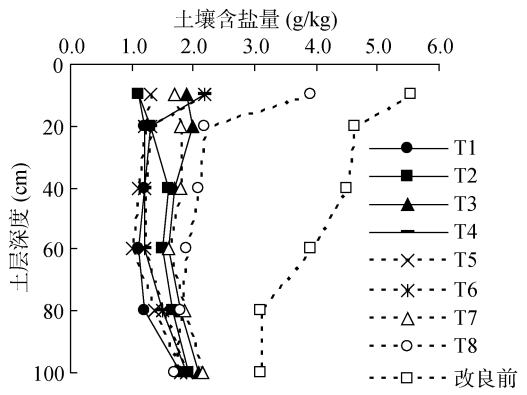


图 1 不同处理土壤含盐量垂直分布情况

Fig. 1 Profile distribution of soil salt contents under different treatments

2.1.2 土壤 pH 垂直分布 由各处理对土壤 pH 影响结果(图 2)可知，各处理包括对照均比改良前土壤的 pH 显著降低，T1 与 T4 处理在 0 ~ 10 cm 效果最好，其次是 T2、T3 处理，T6、T7、T8 最差。T1 ~ T4 施用土壤改良剂的处理在 40 cm 处 pH 达到最大值，40 cm 以下逐渐减小，施用抗盐碱专用肥的处理无此规律。说明土壤改良剂对此层土壤 pH 改良效果不明显，甚至 T3 处理较对照有增大的现象。整体来看，除 40 cm 处，其他土层施用土壤改良剂的处理对土壤 pH 的改良效果比施用抗盐碱专用肥要好。

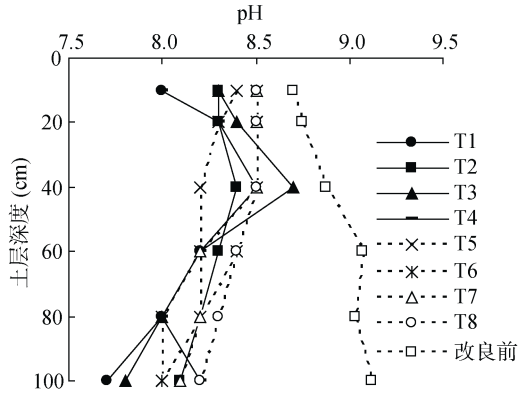
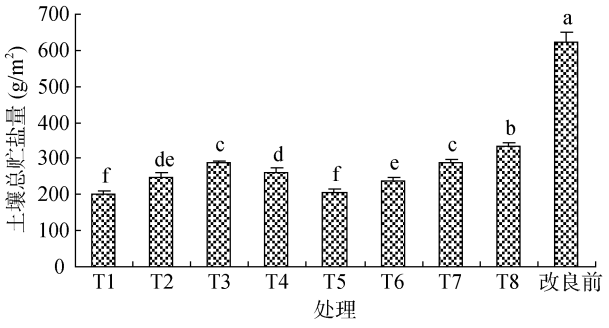


图 2 不同处理土壤 **pH** 垂直分布情况

Fig. 2 Profile distribution of soil pH values under different treatments

2.2 不同处理 0 ~ 100 cm 土层内总贮盐量变化

由不同处理 0 ~ 100 cm 土层内总贮盐量变化规律(图 3)可知，各处理包括对照处理在 0 ~ 100 cm 土层内总贮盐量均较改良之前减少，其中对照 T8 处理在 0 ~ 100 cm 内贮盐量比改良前减少 288.35 g/m^2，此部分盐分一部分被油葵吸收进入植株体内，另一部分随土壤的淋溶作用迁移到 100 cm 以下土层。与对照处理相比，各处理在 0.01<P<0.05 水平下均显著降低了 0 ~ 100 cm 土层内盐分贮量，由小到大排序为 T1<T5<T6<T2<T4<T3<T7，分别比对照处理减少 132.47、130.11、96.40、88.26、75.21、47.29、45.93 g/m^2，不考虑不同改良产品新带入土壤的盐分量，此部分盐分为不同改良产品作用下盐分的净减少量，可用来评价各改良产品的脱盐效果。



(图中小写字母不同表示处理间差异达到 P<0.05 显著水平，下图同)

图 3 不同处理 **0 ~ 100 cm** 土层内总贮盐量变化

Fig. 3 Changes of total salt storages within 0—100 cm under different treatments

2.3 不同处理耕作层土壤化学特性变化

2.3.1 耕作层土壤脱盐效果 油葵的根系一般分布在地表以下 40 cm 内，此土层内土壤状况直接影响油葵的生长情况及产量高低。图 4 为不同处理油葵生育期结束后测定耕作层(0 ~ 40 cm)土壤脱盐率结果。由图可知，各种改良产品对作物耕作层土壤盐分均具有显著的脱盐效果，脱盐率为 35.37% ~ 57.32%，其中 T1 最佳，脱盐率为 57.32%，T5 第二，为 56.10%。对照 T8 处理受灌水、降雨和油葵吸盐性的影响，与改良前相比耕作层土壤自然脱盐率也达到 44.18%。

2.3.2 耕作层土壤 pH 变化率 由油葵耕作层土壤 pH 变化率(图 5)可知，T6、T7 处理 pH 变化率为 0，

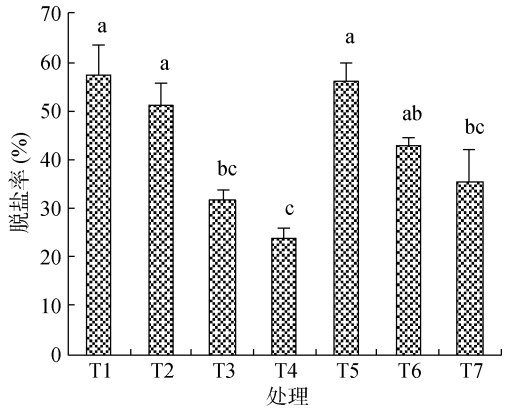


图 4　不同处理对耕层土壤脱盐率的影响
Fig. 4　Effects of different treatments on soil desalting rates of plough layer

说明在作物耕作层内 T6、T7 对 pH 没有改良效果，T1 ~ T5 处理的 pH 变化率显著(0.01<*P*<0.05)高于 T6、T7，排序为 T1=T4>T5>T2>T3>T6=T7=T8。出现这种情况的原因是磷石膏和 ORYKTA 主要成分都为 $CaSH_4{\cdot}2H_2O$，其大量的 Ca^{2+} 可与土壤中游离的碱性盐 Na_2CO_3、$NaHCO_3$ 反应生成 $Ca(HCO_3)_2$、$Ca_3(PO_4)_2$、Na_2SO_4 等，降低了土壤碱性；DS-1997 主要成分为硫磺，其水悬液呈微酸性，可与碱反应生成多硫化物，对于改善土壤碱性也有一定效果；康地宝主要成分为生物有机酸，其可以通过生物络合及置换反应清除土壤胶体上的 Na^+，从而降低土壤碱性；丹路菌肥主要成分为酸性物质，可以和土壤中的碱性物质发生中和反应，降低土壤 pH；而和庄肥是一种缓释肥，那氏齐齐发属于生物诱导剂，这两种抗盐碱专用肥中不含有改善土壤碱性的物质，故对土壤 pH 没有影响。各种改良产品改良效果还受土壤温度、水分等环境因子的影响，所以呈现出不同的改良效果。

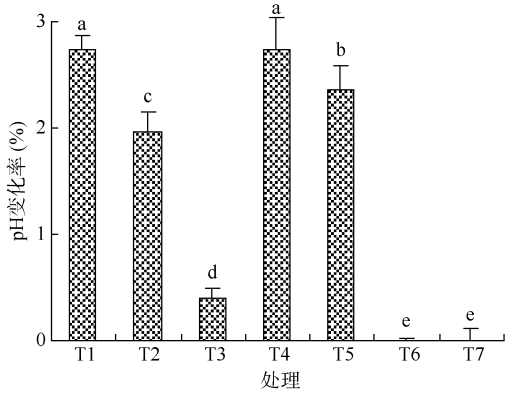


图 5　不同处理对耕层土壤 pH 变化率的影响
Fig. 5　Effects of different treatments on pH change rates of plough layer

2.4　不同处理对油葵出苗率、保苗率的影响

施用不同改良产品的处理油葵出苗率与保苗率如图 6 所示。由图可知，除 T4 呈不显著的下降和 T1 不显著的提高之外，其他处理油葵的出苗率比 T8 均显著提高，出苗率由高到低依次为 T5>T6>T7>T3>T2>T1>T8>T4，各处理出苗率分别比 T8 提高了 37.88%、25.57%、24.86%、13.37%、12.44%、5.10%、0.88%。且总体来看，各种抗盐碱专用肥(T5 ~ T7)要比各种土壤改良剂(T1 ~ T4)提高油葵出苗率效果好，其主要原因应是从改良剂施入土壤到油葵种子萌芽期时间较短，对于油葵根际土壤环境改善还未完全展现效果。

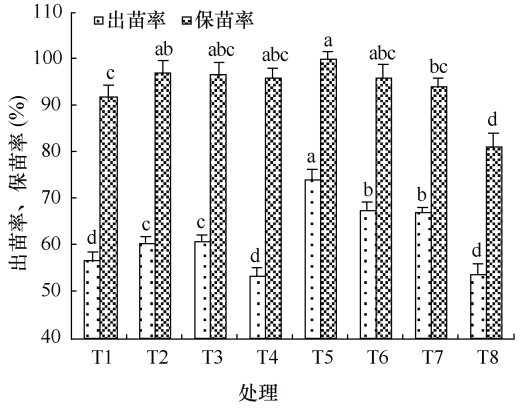


图 6　不同处理油葵出苗率、保苗率的变化规律
Fig. 6　Changes of emergence and survival rates of oil sunflower under different treatments

从保苗率来看，T1 ~ T7 处理的保苗率均大于 90%，且均显著高于 T8 处理的 80.74%。T1 ~ T7 处理中，只有 T1 差异显著低于 T2 和 T5，T5 显著高于 T1 和 T7，其他处理间并无显著差异，说明在油葵进入幼苗期时，土壤改良剂对农田土壤环境的改善已展现出效果。在促进油葵出苗率与保苗率二指标中，T5 处理表现突出，其次是 T6 和 T2。

2.5　盐分与出苗率、保苗率相关关系

用油葵苗期耕作层(0 ~ 40 cm)土壤含盐量与出苗率和保苗率分别作回归分析，如图 7，拟合优度分别为：R^2 = 0.949 7 和 R^2 = 0.805 8。说明制约油葵种子萌发及出苗的主要因子是耕作层土壤含盐量，油葵出苗后幼苗的成活率仍然对土壤盐分十分敏感，但同时也受到其他因素的影响。土壤耕作层内盐分含量是盐渍化土壤葵花出苗率与保苗率的主要限制因子。

2.6　不同处理对油葵生物特性的影响

由表 4 可知，各处理较对照均显著提高了油葵干物质量的积累，其中 T5 和 T6 效果最好，二者在促进油葵生长方面差异不显著，在促进油葵干物质量积累的效果由高到低排序为 T5>T6>T4>T7>T1>T3>T2>T8。

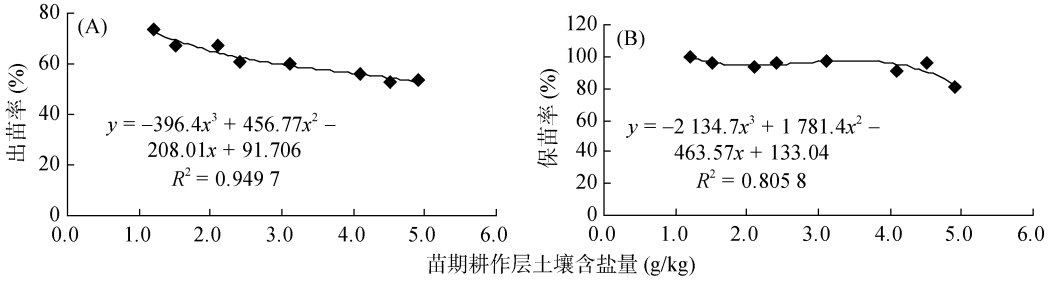


图 7 出苗率及保苗率与土壤含盐量回归分析

Fig. 7 Regression between seedling emergence rate or seedling survival rate and soil salt content

表 4 不同处理对油葵产量构成及干物质量的影响

Table 4 Effects of different treatments on yield components and dry matter qualities of oil sunflower

处理	干物质量(g)	百粒重(g)	产量(kg/hm²)	处理	干物质量(g)	百粒重(g)	产量(kg/hm²)
T1	81.2 ± 0.2 d	8.6 ± 0.4 bc	2 344.65 ± 12.30 b	T5	89.7 ± 0.3 a	8.4 ± 0.7 bc	2 586.90 ± 13.05 a
T2	77.5 ± 0.7 e	9.6 ± 0.1 a	1 947.45 ± 5.70 d	T6	89.6 ± 1.1 a	8.2 ± 0.2 c	2 211.30 ± 58.65 c
T3	77.9 ± 1.6 e	8.5 ± 0.2 bc	1 940.70 ± 66.00 d	T7	85.4 ± 1.5 c	9.1 ± 0.4 ab	1 899.45 ± 44.55 d
T4	87.4 ± 0.8 b	8.8 ± 0.5 abc	1 880.40 ± 40.50 d	T8	72.4 ± 0.4 f	7.1 ± 0.9 d	1 712.55 ± 19.35 e

注：表中小写字母不同表示处理间差异达到 $P<0.05$ 显著水平。

在油葵百粒重测试结果中，各改良产品处理均较对照处理显著($P<0.05$)提高了油葵的百粒重，说明各处理对于油葵籽粒的生长具有显著的促进作用。其中 T2 处理效果最佳，其次是 T7 处理，由高到低排序为 T2>T7>T4>T1>T3>T5>T6>T8。

各处理对于油葵均具有显著增产效果。从高到低依次为 T5>T1>T6>T2>T3>T7>T4>T8，分别比对照 T8 增产 51.06%、36.10%、29.12%、13.72%、13.32%、10.91% 和 9.80%，其中 T2、T3、T4、T7 之间差异不显著，T5 效果最显著，其次是 T1、T6 处理。说明该地区盐碱地土壤比较贫瘠，土壤中缺少腐植酸、酸化矿物质及生物有机酸制剂，丹路菌肥、ORYKTA 及康地宝等改良产品，不仅可以为贫瘠的盐碱土壤提供大量作物生长所需的营养物质，且可以活化盐碱土壤中难以利用的 P、Fe、Ca、Mg 等离子和微量元素，使其转变为可被作物利用的状态，促进了土壤尤其是作物根际区微生物活性及含量，刺激作物生长，达到丰收增产的效果。

2.7 土壤盐分与葵花产量的关系

葵花生长受多种因素影响，对土壤含盐量与葵花产量作回归分析，得到的回归方程为 $y = -136\ 242x^3 + 129\ 856x^2 - 38\ 783x + 5\ 566.5$，$R^2 = 0.970\ 8$，方程拟合度很好，说明在该盐渍化地区葵花产量主要受土壤盐分含量的影响，盐分含量是限制该地区葵花增产的主要因素。

3 结论

1) 试验选用的 7 种土壤改良产品对于目标土壤盐分含量均有一定的脱盐效果。各改良处理在土壤垂直剖面 0 ~ 60 cm 内脱盐效果最佳，在 0 ~ 100 cm 土层内总体贮盐量也较对照处理显著减少，这是由于土壤改良剂及专用肥的施用，使土壤体积质量及透水性发生改变，通过农田灌溉，将土壤中的盐分淋洗到 60 ~ 100 cm 以下，保证了作物耕作层内土壤盐分保持在较低的水平。

2) 7 种土壤改良产品本身含有的成分不同，对于土壤 pH 在空间的分布规律也产生不同的影响，总体来看土壤改良剂对于土壤碱性的改良效果较抗盐碱专用肥好，抗盐碱专用肥中除丹路菌肥外，其他两种产品在本试验中对 pH 均无效果，而各土壤改良剂处理都显著地降低了土壤的 pH。

3) 油葵出苗率的主要限制因子为苗期土壤含盐量，二者呈显著负相关关系，该结果也与王春霞等[24]的研究成果吻合；虽然油葵幼苗成活率的主要限制因子也是土壤含盐量，但已不完全受土壤含盐量的制约，同时也受其他因素的影响，如气温、降雨及人为或动物、鸟类的影响；对于盐渍化土壤盐分始终是制约油葵生长及产量的主要因子，各改良处理对于提高油葵产量均有显著效果，油葵产量与土壤含盐量的拟合优度为 R^2 =0.970 8。

4) 综合分析，在河套灌区 T5 丹路菌肥和 T1 磷石膏改良剂效果最显著，应重点推荐使用。

5) 各种土壤改良产品性质不同，功能也不尽相同。从本研究结果看土壤改良剂主要是改变土壤的结构及降低土壤盐分，而抗盐碱专用肥可以一定程度地改善土壤含盐状况，但更侧重于提供作物所需的营养物质，促进作物的生长。若将抗盐碱专用肥和土壤改

良剂结合施用，再配合水利或其他有效的工程措施，改良效果可能更好，还有待进一步研究。

参考文献：

[1] 王佳丽, 黄贤金, 钟太洋, 等. 盐碱地可持续利用研究综述[J]. 地理学报, 2011, 66(5): 673–684

[2] 王彬, 肖国举, 毛桂莲, 等. 燃煤烟气脱硫废弃物对盐碱土的改良效应及对向日葵生长的影响[J]. 植物生态学报, 2010, 34(10): 1227–1235

[3] 桑以琳. 内蒙古河套灌区碱化土壤的发生原因和特性[J]. 土壤学报, 1996, 33(4): 398–404

[4] 李瑞利. 两种典型盐生植物耐盐机理及应用耐盐植物改良盐渍土研究[D]. 天津: 南开大学, 2010: 8–14

[5] 张永宏. 盐碱地种植耐盐植物的脱盐效果[J]. 甘肃农业科技, 2005(3): 48–49

[6] 孙福利. 水利措施改良盐碱地种植水稻[J]. 水利天地, 2010(10): 30

[7] 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

[8] 陈之群, 孙治强. 土壤调理剂对土壤理化性质及甘蓝生理特性的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(14): 53–56

[9] 潘英华, 雷廷武, 张晴雯, 等. 土壤结构改良剂对土壤水动力学参数的影响[J]. 农业工程学报, 2003, 19(4): 37–39

[10] 郑普山, 郝保平, 冯悦晨, 等. 不同盐碱地改良剂对土壤理化性质、紫花苜蓿生长及产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(9): 1216–1221

[11] 吴洪生, 陈小青, 周晓冬, 等. 磷石膏改良剂对江苏如东滨海盐土理化性状及小麦生长的影响[J]. 土壤学报, 2012, 49(6): 1262–1266

[12] Emami H, Astaraei A R, Fotovat A, et al. Effect of soil conditioners on cation ratio of soil structural stability, structural stability indicators in a sodic soil, and on dry weight of maize[J]. Arid Land Research and Management, 2014, 28(3): 325–339

[13] 南江宽, 陈效民, 王晓洋, 等. 不同改良剂对滨海盐渍土盐碱指标及作物产量的影响研究[J]. 土壤, 2013, 45(6): 1108–1112

[14] 张江辉, 白云岗, 张胜江, 等. 两种化学改良剂对盐渍化土壤作用机制及对棉花生长的影响[J]. 干旱区研究, 2011, 28(3): 384–388

[15] 张建中, 闫治斌, 王学, 等. 多功能调理剂对甘肃河西内陆盐渍土理化性质和甜高粱产草量的影响[J]. 土壤, 2016, 48(5): 901–909

[16] 白亚妮, 来航线, 温小玲, 等. 硫磺改良盐碱土的微生物效应研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(2): 151–157

[17] 赵春艳, 伊力哈木, 张胜江, 等. 新疆南疆盐渍化棉田 FA 旱地龙施用效果及推荐施用量研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(1): 89–94

[18] Shokrollah A, Fariborz A, Mohammad R N. Effects of soil conditioners on physical quality and bromide transport properties in a sandy loam soil[J]. Biosystems Engineering, 2011, 109: 90–97

[19] 王斌, 马兴旺, 单娜娜, 等. 新疆盐碱地土壤改良剂的选择与应用[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(7): 111–115

[20] 高伟, 邵玉翠, 杨军, 等. 盐碱地土壤改良剂筛选研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(21): 154–160

[21] 王小彬, 蔡典雄. 土壤调理剂 PAM 的农用研究和应用[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(4): 457–463

[22] 王伦平, 陈亚新, 曾国芳, 等. 内蒙古河套灌区灌溉排水与盐碱化防治[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993

[23] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998

[24] 王春霞, 王全九, 刘建军, 等. 灌水矿化度及土壤含盐量对南疆棉花出苗率的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 28–33

Materials Screening for Improving Moderately Salinized Soils in Hetao Irrigation Area

LIU Ruimin[1], YANG Shuqing[1*], SHI Haibin[1], LIANG Jiancai[1,2]

(1*Water Conservancy and Civil Engineering College*, *Inner Mongolia Agricultural University*, *Hohhot* 010018, *China*; 2 *College of Resources and Environment*, *Shanxi Agricultural University*, *Taigu*, *Shanxi* 030801, *China*)

Abstract: The effects of four kinds of soil ameliorants and three kinds of anti-alkali special fertilizers on soil salt content, salt storage of soil layer, yield components and dry matter quality of oil sunflower were analyzed in order to screen the suitable materials for improving the moderately salinized soil in Hetao Irrigation Area of Inner Mongolia. The results showed that the effects of soil ameliorants and anti-alkali fertilizers were significantly better than the control treatment, anti-alkali fertilizers showed better in promoting the emergence and survival rates and the yield of oil flower, while soil ameliorants better in soil desalting and reducing soil alkalinity. Danlu bacterial fertilizer (T5) showed best for plant, and also more prominent for soil; while phosphogypsum (T1) best for soil, so they are recommended to be used for improvement of salinized soil.

Key words: Hetao Irrigation District; Moderate salinization; Soil conditioner; Anti alkali fertilizer; Screening test