

# 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<sup>①</sup>

张建中<sup>1,2</sup>, 闫治斌<sup>3</sup>, 王学<sup>3</sup>, 马世军<sup>3</sup>, 秦嘉海<sup>2</sup>, 赵芸晨<sup>1\*</sup>

(1 河西学院农业与生物技术学院, 甘肃张掖 734000; 2 甘肃省张掖市甘州区种子管理局, 甘肃张掖 734000;

3 甘肃省敦煌种业股份有限公司, 甘肃酒泉 735000)

**摘要:**在甘肃河西内陆的盐渍土上,采用田间试验方法,研究了多功能调理剂对盐渍土理化性质和甜高粱产草量的影响。结果表明:多功能调理剂最佳配方组合为:A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>1</sub>(即营养因子 1.80 t/hm<sup>2</sup>、有机生态肥 72 t/hm<sup>2</sup>、盐渍土改良材料 1.20 t/hm<sup>2</sup>)。不同种类盐渍土改良剂对盐渍土体积质量、pH、EC 和全盐由大到小的变化顺序依次为:盐渍土荒滩(CK)>抗盐丰盐碱土改良剂>禾康盐碱土改良剂>盐碱土改良剂>多功能调理剂;总孔隙度、团聚体、饱和持水量、有机质、速效氮磷钾、甜高粱产草量由大到小的变化顺序依次为:多功能调理剂>盐碱土改良剂>禾康盐碱土改良剂>抗盐丰盐碱土改良剂>盐渍土荒滩(CK)。多功能调理剂与盐渍土荒滩(CK)比较,盐渍土体积质量、pH 和全盐分别降低 28.05%、3.63% 和 62.16%;总孔隙度、团聚体和饱和持水量分别增加 45.55%、45.55% 和 32.91%;有机质、碱解氮、速效磷和速效钾分别增加 11.74%、145.01%、206.56% 和 13.35%;甜高粱产草量出苗率、株高、茎粗、单株鲜重和产草量分别增加 123.69%、120.00%、105.29%、133.33% 和 181.13%。多功能调理剂施用量与盐渍土孔隙度、团聚体、持水量、有机质、速效氮磷钾、微生物数量、甜高粱产草量之间呈正相关关系,与体积质量、pH 和全盐之间呈负相关关系。多功能调理剂施用量与甜高粱产草量间的回归方程为: $y = 32.64 + 0.5561x - 0.0003x^2$ ,最佳施用量为 75.00 t/hm<sup>2</sup>,甜高粱产草量为 72.66 t/hm<sup>2</sup>。在盐渍土上施用多功能调理剂,有效地改良了盐渍土理化和生物学性质,降低了体积质量、pH、EC 和全盐,增加了总孔隙度、团聚体、饱和持水量,提高了有机质及速效氮磷钾和甜高粱产草量。

**关键词:**多功能调理剂;盐渍土;理化性质;甜高粱

**中图分类号:**S156.2

土壤调理剂的研究始于 20 世纪 80 年代,技术领先国家包括美国、前苏联、比利时等,其中以比利时的 TC 调理剂<sup>[1-3]</sup>和印度的 Agri-CS 调理剂最为成功。1982 年,我国农牧渔业部从比利时引进聚丙烯酰胺和沥青乳剂,应用于渠道防渗、盐渍土改良、造林、种草、防止水土流失、旱地增温、保墒等方面<sup>[4]</sup>。近年来商品化土壤调理剂在我国种类和数量均呈增加趋势,获得国家行政审批的土壤调理剂产品达到 40 多个,这些土壤调理剂产品的主要功能包括改良土壤结构、降低土壤盐碱危害、调节土壤酸碱度、改善土壤水分状况或修复污染土壤等。近些年来,许多研究表明,人工合成高聚物含有代换能力强的高价离子,施用后与碱土吸附的交换性钠进行离子交换,交换下来的钠离子溶于水中被排洗掉,从而达到降低盐

碱的目的<sup>[5]</sup>。杨宇等<sup>[6]</sup>以生化黄腐酸为主要成分的土壤改良剂对盐碱土进行了改良试验,结果显示土壤中大于 0.25 mm 的水稳性团粒含量比对照提高了 5.40% 和 35.80%,土壤 pH 由 8.50 下降到 7.80。潘保原<sup>[7]</sup>利用磷石膏、煤渣、鸡粪、污泥和酒糟对松嫩平原大庆地区的盐碱土进行了改良效果研究,结果显示:几种物质中酒糟施用后效果最好,中度和重度盐碱土壤的碱化度分别下降了 4.00% 和 4.85%。安东等<sup>[8]</sup>研究了硫磺、石膏、有机肥和 PAM 对盐碱土理化性质的影响,结果显示:盐碱土物理性质得到了改善,并且与水分利用相互配合,共同促进了盐碱土的改良。

甘肃河西内陆的盐渍土分布面积为 1.21×10<sup>6</sup> hm<sup>2</sup>,酒泉市主要分布在肃州区、玉门市、敦煌市、金塔县、瓜州县、肃北县和阿克塞县的河成阶地和冲积扇地

基金项目:甘肃省科技重大专项项目(2015GS05915)资助。

\* 通讯作者(yr1826@126.com)

作者简介:张建中(1963—),男,甘肃张掖人,硕士,农艺师,主要研究方向为功能性改土剂产品合成。E-mail: qinjiahai123@163.com

带,湖河阶地,局部低洼碟形凹地上;张掖市主要分布在甘州、临泽、高台及肃南明花区;武威市主要分布在民勤、古浪和凉州区。甘肃河西内陆盐渍土分布具有一定的规律性,在沼泽地、地下水露头地带分布着沼泽盐渍土;在洪积冲积平原低洼带和河流两岸分布着草甸盐渍土;在肃南的明花区、高台盐池、合黎山缘北部分布着旱盐渍土;在玉门黄化农场、和饮马农场分布着镁质碱性土<sup>[9-10]</sup>。盐分组成由  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  3 种阳离子和  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$  4 种阴离子组成的  $\text{NaCl}$ 、 $\text{CaCl}_2$ 、 $\text{MgCl}_2$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{MgSO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 、 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{MgCO}_3$  12 种盐类,各种盐类对植物的毒害效应依次为  $\text{Na}_2\text{CO}_3 > \text{NaHCO}_3 > \text{NaCl} > \text{CaCl}_2 > \text{MgSO}_4 > \text{Na}_2\text{SO}_4$ <sup>[11]</sup>。有关盐渍土的改良利用前人做了大量的研究工作<sup>[12-19]</sup>,其中,水利工程措施改良盐渍化土效果较好,但存在的问题是河西内陆淡水资源匮乏,难以大面积推广;盐生植物改良是一个发展方向,但盐生植物的培育难度较大且时间长;化学措施改良是一项重要的措施,但只注重单一改良剂对盐渍化土的改良效果,而忽视了多种改良剂的配合施用对盐渍土的改良。因此,研究和开发多功能调理剂是本文研究关键所在。本试验采用酸碱中和原理、离子交换原理、土壤结构改良原理和土壤养分平衡原理,将营养因子与聚乙稀醇<sup>[20-23]</sup>、硫酸铝、硫磺、保水剂<sup>[24-26]</sup>、牛粪、糠醛渣<sup>[27-29]</sup>、固氮解磷解钾微生物菌肥<sup>[30-31]</sup>按比例合成集营养、改土、保水为一体的多功能调理剂,进行盐碱土改良剂比较试验和最佳施用量试验,以便为盐渍土改良利用提供技术支撑。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地概况

试验地点是甘肃省酒泉市肃州区铧尖乡漫水滩村,土壤类型是盐渍土,0~20 cm 土层含有机质 12.10 g/kg、碱解氮 37.24 mg/kg、速效磷 5.33 mg/kg、速效钾 109.82 mg/kg、有效硼 0.86 mg/kg、有效锰 6.72 mg/kg、有效铜 1.01 mg/kg、有效锌 0.42 mg/kg、有效铁 12.70 mg/kg、有效钼 0.10 mg/kg、CEC(阳离子交换量) 6.34 cmol/kg、pH 8.53、全盐 6.29 g/kg。盐生植物是碱蓬(*Suaeda glauca*(Bunge)Bunge)、骆驼刺(*Alhagi sparsifolia* Shap.(ex Keller et Shap.))、芦苇(*Phragmites australis* Trin.)、冰草(*Agropyron cristatum* (Linn) Gaertn)、盐蒿(*Artemisia halodendrom Turczet Bess*)、怪柳(*Tamarix chinensis* Lour)、罗布麻(*Apocynum venetum* L.)。

### 1.2 试验材料

**1.2.1 肥料**  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , 含 N 46%;  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ , 含 N 18%、 $\text{P}_2\text{O}_5$  46%;  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 含 Zn 23%;  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , 含 Mo 50%; 硫酸铝( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), 含  $\text{Al}_2\text{O}_3$  15.90%, 粒径 0.5~1 mm; 硫磺, 含 S 95%, 粒径 0.5~1 mm; 固氮解磷解钾微生物菌肥, 有效活菌数  $\geq 10$  亿个/g; 有机生态肥, 将发酵牛粪、改性糠醛渣、固氮解磷解钾微生物菌肥重量比按 0.6000:0.3900:0.0100 混合, 含有机质 34.35%, N 0.42%,  $\text{P}_2\text{O}_5$  0.29%,  $\text{K}_2\text{O}$  0.56%, 在 25~30℃ 条件下发酵 120 天备用。

**1.2.2 改性糠醛渣** 在糠醛渣中加入 4% 碳酸氢铵, 将 pH 调整到 6.50~7.50, 含有机质 60%~65%、腐殖酸 11.63%、全氮 0.61%、全磷 0.36%、全钾 1.18%, pH 为 2.1, 粒径 1~2 mm; 发酵牛粪, 含有机质 14%~16%, 全氮 0.32%、全磷 0.25%、全钾 0.16%, 粒径 1~2 mm。

**1.2.3 其他材料** 聚乙稀醇, 粒径 0.05~2 mm; 保水剂, 吸水倍率 645 g/g; 营养因子, 将尿素、磷酸二铵、硫酸锌、钼酸铵重量比按 0.5700:0.3900:0.030:0.010 混合, 含 N 33%、 $\text{P}_2\text{O}_5$  18%、Zn 0.69%、Mo 0.50%; 盐渍土改良材料, 将保水剂、硫酸铝、硫磺、聚乙稀醇重量比按 0.0549:0.3671:0.5504:0.0276 混合, 含  $\text{Al}_2\text{O}_3$  5.87%、S 52.29%; 禾康盐碱土改良剂, 北京飞鹰绿地科技有限公司产品; 抗盐丰盐碱土改良剂, 北京禾源草业开发有限公司产品; 盐碱土壤改良剂, 乌鲁木齐金昌隆农业科技有限公司产品; 甜高粱(*Sorghum bicolor* L. Moench)品种为雅津 1 号, 北京桑梁技术发展中心选育。

### 1.3 试验设计

**1.3.1 多功能调理剂配方确定** 2010 年 4 月 20 日选择营养因子、有机生态肥、盐渍土改良材料为 3 个因素, 选择正交表  $L_9(3^3)$  设计试验<sup>[32]</sup>, 则每个因素有 3 个水平, 共 9 个处理(表 1), 按表中用量制成 9 种多功能调理剂。

**1.3.2 不同种类改良剂比较试验** 多功能调理剂配制: 根据试验一筛选的配方, 将营养因子、有机生态肥、盐渍土改良材料重量比按 0.0240:0.9600:0.016 混合, 得到多功能调理剂, 经室内分析含有机质 32.88%、N 1.20%、 $\text{P}_2\text{O}_5$  0.71%、 $\text{K}_2\text{O}$  0.54%、Zn 0.02%、Mo 0.01%、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  0.09%、S 0.84%。

试验处理: 2011 年 4 月 20 日至 2012 年 4 月 20 日, 在投入成本相等的条件下(19 167 元/hm<sup>2</sup>), 试验共设计 5 个处理: 盐渍土荒滩(CK); 禾康盐碱土

表 1 L<sub>9</sub>(3<sup>3</sup>)正交试验设计表  
Table 1 L<sub>9</sub>(3<sup>3</sup>) orthogonal experimental design

试验处理	A (营养因子)	B (有机生态肥)	C (盐渍土改良材料)
1	1(0.90)	1(36)	1(1.20)
2	3(2.70)	1(36)	3(3.60)
3	2(1.80)	1(36)	2(2.40)
4	2(1.80)	2(72)	1(1.20)
5	3(2.70)	2(72)	3(3.60)
6	1(0.90)	2(72)	2(2.40)
7	3(2.70)	3(108)	1(1.20)
8	1(0.90)	3(108)	3(3.60)
9	2(1.80)	3(108)	2(2.40)

注：括号外数据为正交试验水平代码值，括号内数据为试验数据(t/hm<sup>2</sup>)，下表同。

改良剂，施用量 3.50 t/hm<sup>2</sup>；抗盐丰盐碱土改良剂，施用量 3.00 t/hm<sup>2</sup>；盐碱土改良剂，施用量 3.75 t/hm<sup>2</sup>；多功能调理剂，施用量 75 t/hm<sup>2</sup>。每个试验处理重复 3 次，随机区组排列。

**1.3.3 多功能调理剂最佳施用量研究** 2013 年 4 月 20 日至 2014 年 4 月 20 日，按照试验一筛选的配方，将多功能调理剂施用量梯度设计为 0、15、30、45、60、75、90 t/hm<sup>2</sup> 7 个处理，以处理 1 为对照 (CK)，每个处理重复 3 次，随机区组排列。

**1.3.4 种植方法** 试验小区面积为 32 m<sup>2</sup>(8 m × 4 m)，小区四周筑埂，埂宽 30 cm，高 35 cm。每个试验处理的改良剂和多功能调理剂在高粱播种前施入 0 ~ 20 cm 土层，灌水第 7 天后浅耕播种，播种时间为 2010、2011、2012、2013、2014 每年的 4 月 20 日，播种前种子用 30℃ 的温水浸泡 24 h，播种深度为 2 ~ 3 cm，株距 15 cm，行距 50 cm，每个小区种植 426 株，分别在拔节期、开花期每个试验小区结合灌水追施尿素 0.72 kg。在拔节期、抽穗期、开花期、灌浆期各灌水 1 次，每个小区灌水量相等。

**1.4 测定指标与方法**

甜高粱收获时在试验小区内按照对角线采样方法，确定 5 个样品采集点，每个点连续采集 10 株，共采集 50 株测定株高、茎粗、单株产草量，茎粗测定采用游标卡尺法。每个试验小区单独收获，将小区产草量折合成公顷产草量进行统计分析。甜高粱收获后，分别在试验小区内按对角线布置 5 个点，每个点采集 0 ~ 20 cm 耕作层土样 5 kg，用四分法带回 1 kg 混合土样，风干 15 天，过 1 mm 筛供室内化验分析，其中土壤体积质量、团聚体、微生物测定用环刀采原状土，未进行风干。土壤体积质量采用环刀法测定；孔隙度采用计算法求得；>0.25 mm 团聚体采用干筛法测定；田间持水量采用威尔克斯法测定；有机质

采用重铬酸钾法测定；碱解氮采用扩散法测定；速效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定；速效钾采用火焰光度计法测定；pH 采用 5 : 1 水土比浸提，用 pH-2F 数字 pH 计测定；全盐采用电导法测定；微生物数量采用稀释平板法测定；饱和持水量按公式(土壤饱和持水量 = 面积 × 总孔隙度 × 土层深度)求得；毛管持水量按公式(土壤毛管持水量 = 面积 × 毛管孔隙度 × 土层深度)求得；非毛管持水量按公式(土壤非毛管持水量 = 面积 × 非毛管孔隙度 × 土层深度)求得<sup>[33-34]</sup>。

**1.5 数据处理**

土壤理化性质、有机质、速效养分和甜高粱株高、茎粗、单株产草量数据处理采用直线回归统计法；差异显著性采用 DPSS 10.0 统计软件分析，多重比较，LSR 检验法。依据最佳施用量计算公式  $x_0 = [(p_x/p_y) - b] / 2c$  求得多功能调理剂最佳施用量( $x_0$ )<sup>[35-36]</sup>，依据  $y = a + bx + cx^2$  回归方程，求得多功能调理剂最佳施用量时的甜高粱产草量( $y$ )<sup>[37]</sup>。

**2 结果与分析**

**2.1 多功能调理剂配方筛选**

2010 年 9 月 10 日甜高粱收获后测定数据采用正交试验分析可知，不同因素对甜高粱产草量的效应(R)是 B>A>C，说明影响甜高粱产草量效应依次是：有机生态肥(R = 81.84)>营养因子(R = 42.80)>盐渍土改良材料(R = 26.63)(表 2)。比较各因素不同水平的 T 值可以看出， $T_{A2} > T_{A3} > T_{A1}$ ，说明甜高粱产草量随着营养因子施用量梯度的增大而增加，当营养因子施用量超过 1.80 t/hm<sup>2</sup> 后，甜高粱产草量又随营养因子施用量梯度的增大而降低； $T_{B2} > T_{B1} > T_{B3}$ ，说明甜高粱产草量随着有机生态肥施用量梯度的增大而增加，当有机

表 2 L<sub>9</sub>(3<sup>3</sup>)正交试验分析  
Table 2 Analysis of L<sub>9</sub>(3<sup>3</sup>) orthogonal experimental design

处理	A (营养因子)	B (有机生态肥)	C (盐渍土改良材料)	产草量 (t/hm <sup>2</sup> )
1	1(0.90)	1(36)	1(1.20)	39.02 ± 2.32
2	3(2.70)	1(36)	3(3.60)	40.99 ± 3.04
3	2(1.80)	1(36)	2(2.40)	42.57 ± 2.91
4	2(1.80)	2(72)	1(1.20)	78.04 ± 0.79
5	3(2.70)	2(72)	3(3.60)	60.31 ± 0.35
6	1(0.90)	2(72)	2(2.40)	53.22 ± 0.63
7	3(2.70)	3(108)	1(1.20)	39.02 ± 2.15
8	1(0.90)	3(108)	3(3.60)	28.15 ± 1.57
9	2(1.80)	3(108)	2(2.40)	42.57 ± 1.52
T <sub>1</sub>	120.38	122.59	156.08	847.76(T)
T <sub>2</sub>	163.18	191.57	138.36	
T <sub>3</sub>	140.32	109.73	129.45	
R	42.80	81.84	26.63	

生态肥施用量超过 72 t/hm<sup>2</sup>, 甜高粱产草量又随着有机生态肥施用量梯度的增大而降低;  $T_{C1} > T_{C2} > T_{C3}$ , 说明盐渍土改良材料最大施用量不要超过 1.20 t/hm<sup>2</sup>。从各因素的  $T$  值可以看出, 因素间最佳组合是:  $A_2B_2C_1$  (营养因子 1.80 t/hm<sup>2</sup>, 有机生态肥 72 t/hm<sup>2</sup>, 盐渍土改良材料 1.20 t/hm<sup>2</sup>), 将营养因子、有机生态肥、盐渍土改良材料重量比按 0.0240 : 0.9600 : 0.016 混合, 得到多功能调理剂配方。

## 2.2 不同种类改良剂对盐渍土理化性质及甜高粱植物学性状和经济效益的影响

### 2.2.1 对盐渍土物理性质和持水量的影响 连续定

点试验 2 年后, 于 2012 年 9 月 10 日甜高粱收获后测定数据可知(表 3), 不同种类盐渍土改良剂对盐渍土体积质量由大到小的变化顺序依次为: 盐渍土荒滩(CK) > 抗盐丰盐碱土改良剂 > 禾康盐碱土改良剂 > 盐碱土改良剂 > 多功能调理剂; 总孔隙度、团聚体和饱和持水量由大到小的变化顺序依次为: 多功能调理剂 > 盐碱土改良剂 > 禾康盐碱土改良剂 > 抗盐丰盐碱土改良剂 > 盐渍土荒滩(CK)。多功能调理剂与盐渍土荒滩(CK)比较, 体积质量降低 28.05%, 总孔隙度、团聚体和饱和持水量分别增加 45.55%、45.55% 和 32.91%, 差异极显著( $P < 0.01$ )。

表 3 不同种类改良剂对盐渍土物理性质和持水量的影响

Table 3 Effects of different ameliorations on physical properties and water-holding capacities of saline soils

处理	体积质量(g/cm <sup>3</sup> )	总孔隙度(%)	饱和持水量(t/hm <sup>2</sup> )	> 0.25mm 团聚体(%)
盐渍土荒滩(CK)	1.64 aA	38.11 eD	762.20 eD	24.92 bB
禾康盐碱土改良剂	1.48 cB	44.15 cC	883.00 cC	25.69 bB
抗盐丰盐碱土改良剂	1.53 bB	42.26 dC	845.20 dC	25.43 bB
盐碱土改良剂	1.35 dC	49.06 bB	981.20 bB	26.22 bB
多功能调理剂	1.18 eD	55.47 aA	1109.40 aA	33.12 aA

注: 同列数据大写字母不同表示处理间差异达到  $P < 0.01$  显著水平, 小写字母不同表示处理间差异达到  $P < 0.05$  显著水平, 下同。

### 2.2.2 对盐渍土有机质和速效养分的影响

从表 4 可知, 不同种类盐渍土改良剂对盐渍土有机质、碱解氮、速效磷、速效钾由大到小的变化顺序依次为: 多功能调理剂 > 盐碱土改良剂 > 禾康盐碱土改良剂 >

抗盐丰盐碱土改良剂 > 盐渍土荒滩(CK)。多功能调理剂与盐渍土荒滩(CK)比较, 有机质、碱解氮、速效磷和速效钾分别增加 11.74%、145.01%、206.56% 和 13.35%, 差异极显著( $P < 0.01$ )。

表 4 不同种类改良剂对盐渍土有机质及速效养分和化学性质的影响

Table 4 Effects of different ameliorations on organic matter contents, rapid available nutrient contents and chemical properties of saline soils

处理	有机质(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	速效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	pH	全盐(mg/kg)	脱盐率(%)
盐渍土荒滩(CK)	12.10 bB	37.24 cC	5.33 cC	109.82 cC	8.53 aA	6.29 aA	-
禾康盐碱土改良剂	12.54 bB	45.12 bB	6.32 bB	114.21 bB	8.39 bcA	2.94 cB	54.46
抗盐丰盐碱土改良剂	12.41 bB	44.36 bB	6.18 bB	112.38 bB	8.45 abA	3.16 bB	50.24
盐碱土改良剂	12.68 bB	45.55 bB	6.54 bB	116.35 bB	8.26 cdA	2.69 dC	58.03
多功能调理剂	13.52 aA	91.24 aA	16.34 aA	124.48 aA	8.22 dA	2.38 eD	62.16

### 2.2.3 对盐渍土化学性质的影响

从表 4 可知, 不同种类盐渍土改良剂对盐渍土 pH 和全盐由大到小的变化顺序依次为: 盐渍土荒滩(CK) > 抗盐丰盐碱土改良剂 > 禾康盐碱土改良剂 > 盐碱土改良剂 > 多功能调理剂。多功能调理剂与盐渍土荒滩(CK)比较, pH 降低了 3.63%, 差异显著( $P < 0.05$ ), 全盐降低 62.16%, 差异极显著( $P < 0.01$ )。究其原因, 一是多功能调理剂中加入的硫磺是一种酸性化合物; 二是多功能调理剂中加入的有机生态肥, 在土壤微生物的分解作用下产生有机酸, 因而降低了盐渍土 pH; 三是多功能调理剂撒施在地表, 然后灌水第 7 天后浅耕播种, 多功能调理剂中加入的  $Al_2(SO_4)_3$ , 在土壤中水解为  $SO_4^{2-}$  和

$Al^{3+}$ ,  $Al^{3+}$  代换能力大于一二价阳离子, 盐渍土胶体表面的盐基离子  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $K^+$ 、 $Na^+$  被  $Al^{3+}$  代换到土壤溶液中, 使盐基离子随灌溉水淋溶到底土层, 因而降低了盐渍土全盐含量。

### 2.2.4 对甜高粱植物学性状和产草量的影响

2012 年 9 月 10 日甜高粱收获后测定数据可知(表 5), 不同种类盐渍土改良剂对甜高粱植物学性状和产草量由大到小的变化顺序依次为: 多功能调理剂 > 盐碱土改良剂 > 禾康盐碱土改良剂 > 抗盐丰盐碱土改良剂 > 盐渍土荒滩(CK)。多功能调理剂与盐渍土荒滩(CK)比较, 出苗率、株高、茎粗、单株鲜重和产草量分别增加 123.69%、120.00%、105.29%、133.33% 和 181.13%, 差异极显著( $P < 0.01$ )。

表 5 不同种类改良剂对甜高粱植物学性状和产草量的影响  
Table 5 Effects of different ameliorations on botanic characters and straw yields of sweet sorghums

处理	出苗率(%)	株高(m)	茎粗(cm)	单株鲜重(kg/株)	产草量(t/hm <sup>2</sup> )
盐渍土荒滩(CK)	41.32 cC	1.65 eD	1.51 eB	0.39 bB	25.81 eB
禾康盐碱土改良剂	88.95 aA	3.13 cC	2.72 cA	0.84 aA	67.23 cA
抗盐丰盐碱土改良剂	82.34 bB	2.96 dC	2.53 dA	0.81 aA	64.33 dA
盐碱土改良剂	90.58 aA	3.36 bB	2.91 bA	0.87 aA	69.46 bA
多功能调理剂	92.43 aA	3.63 aA	3.10 aA	0.91 aA	72.56 aA

## 2.3 多功能调理剂施用量对盐渍土物理性质及持水量的影响

2.3.1 对盐渍土体积质量的影响 土壤体积质量是表征土壤松紧程度的一个重要指标,也是计算土壤孔隙度的重要参数<sup>[38]</sup>。连续定点试验 2 年后,于 2014 年 9 月 10 日甜高粱收获后测定数据可知(表 6),多功

能调理剂施用量与盐渍土体积质量之间呈显著的负相关关系,相关系数( $r$ )为  $-0.992\ 8$ 。多功能调理剂施用量  $90.00\ t/hm^2$ ,与 CK 比较,体积质量降低  $33.74\%$ ,差异极显著( $P < 0.01$ )。究其原因多功能调理剂中的牛粪、糠醛渣含有丰富的有机质,使盐渍土疏松,降低了体积质量。

表 6 多功能调理剂施用量对盐渍土物理性质的影响  
Table 6 Effects of multifunctional amelioration dosages on physical properties of saline soils

多功能调理剂(t/hm <sup>2</sup> )	体积质量(g/cm <sup>3</sup> )	总孔隙度(%)	毛管孔隙度(%)	非毛管孔隙度(%)	>0.25 mm 团聚体(%)
0(CK)	1.63 aA	38.49 gF	15.18 gG	23.31 gE	19.79 gG
15	1.54 bB	41.88 fE	17.92 fF	23.96 fE	21.05 fF
30	1.42 cC	46.42 eD	19.43 eE	26.99 eD	23.14 eE
45	1.33 dD	49.81 dC	21.18 dD	28.63 dC	25.71 dD
60	1.21 eE	54.34 cB	24.09 cBC	30.25 cB	29.22 cC
75	1.13 fF	57.36 bA	25.01 bAB	32.35 bA	32.83 bB
90	1.08 gF	59.25 aA	26.55 aA	32.70 aA	36.48 aA

2.3.2 对盐渍土孔隙度的影响 土壤孔隙度是表征土壤通气性和透水性的重要指标<sup>[39]</sup>,从表 6 可知,多功能调理剂施用量与盐渍土总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度之间呈显著的正相关关系,相关系数( $r$ )分别为  $0.995\ 2$ 、 $0.993\ 3$ 、 $0.987\ 5$ 。多功能调理剂施用量  $90.00\ t/hm^2$ ,与 CK 比较,总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度分别增加  $53.94\%$ 、 $74.90\%$  和  $40.28\%$ ,差异极显著( $P < 0.01$ )。究其原因多功能调理剂中的牛粪、糠醛渣含有丰富的有机质,使土壤疏松,增大了孔隙度。

2.3.3 对盐渍土团聚体的影响 土壤团聚体是表征肥沃土壤的指标之一<sup>[40-43]</sup>。从表 6 可知,多功能调理剂施用量与盐渍土团聚体之间呈显著的正相关关系,相关系数( $r$ )为  $0.987\ 6$ 。多功能调理剂施用量  $90.00\ t/hm^2$ ,与 CK 比较,团聚体增加  $84.34\%$ ,差异极显著( $P < 0.01$ )。分析这一结果产生的原因,一是多功能调理剂中的聚乙烯醇是一种胶结物质,可以把小土粒粘在一起,形成较稳定的团聚体;二是多功能调理剂中的牛粪、糠醛渣在土壤微生物的作用下合成了土壤腐殖质,腐殖质中的酚羟基、羧基、甲氧基、羰基、羟基、醌基等功能团解离后带负电荷<sup>[44]</sup>,吸附

了河西内陆盐渍土中的  $Ca^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  是一种胶结物质,有利于盐渍土团聚体的形成。

2.3.4 对盐渍土持水量的影响 土壤持水量是表征土壤储水能力的重要指标<sup>[45]</sup>,从表 7 可知,多功能调理剂施用量与盐渍土田间持水量、饱和持水量、毛管持水量、非毛管持水量之间呈显著的正相关关系,相关系数( $r$ )分别为  $0.996\ 4$ 、 $0.995\ 2$ 、 $0.993\ 2$ 、 $0.987\ 4$ 。多功能调理剂施用量  $90.00\ t/hm^2$ ,与 CK 比较,田间持水量、饱和持水量、毛管持水量、非毛管持水量分别增加  $164.12\%$ 、 $53.93\%$ 、 $74.90\%$ 、 $40.28\%$ ,差异极显著( $P < 0.01$ )。分析这一结果产生的原因:一是多功能调理剂中的保水剂是一类高分子聚合物,这类物质能在  $10\ min$  内吸附超过自身重量  $100 \sim 1\ 400$  倍的水分,在提高土壤持水性能方面具有重要的作用<sup>[46]</sup>;二是多功能调理剂中的牛粪、糠醛渣,在盐渍土中合成腐殖质,腐殖质的最大吸水量可以超过  $500\%$ <sup>[47]</sup>,因而提高了盐渍土的持水量。

## 2.4 多功能调理剂施用量对盐渍土 pH 和全盐含量的影响

2.4.1 对盐渍土 pH 的影响 土壤 pH 是表征土壤化学性质的重要指标。从表 7 可知,多功能调理剂施用

表 7 多功能调理剂施用量对盐渍土持水量的影响  
Table 7 Effects of multifunctional amelioration dosages on water-holding capacities of saline soils

多功能调理剂 (t/hm <sup>2</sup> )	田间持水量 (%)	饱和持水量 (t/hm <sup>2</sup> )	毛管持水量 (t/hm <sup>2</sup> )	非毛管持水量 (t/hm <sup>2</sup> )	pH	全盐 (g/kg)	脱盐率 (%)
0(CK)	19.31 gG	769.8 gF	303.6 gF	466.2 gF	8.48 aA	6.50 aA	—
15	21.64 fF	837.6 fE	358.4 fE	479.2 fF	8.40 bA	5.52 bA	15.07 fF
30	23.69 eE	928.4 eD	388.6 eE	539.8 eDE	8.36 cA	4.69 cB	27.85 eE
45	25.93 dD	996.2 dC	423.6 dD	572.6 dCD	8.32 dA	3.99 dC	38.61 dD
60	29.91 cC	1 086.8 cB	481.8 cBC	605.0 cBC	8.30 eA	3.39 eD	47.85 cC
75	32.13 bB	1 147.2 bA	500.2 bAB	647.0 bAB	8.26 fA	2.88 fE	55.69 bB
90	34.59 aA	1 185.0 aA	531.0 aA	654.0 aA	8.20 gA	2.45 gF	62.31 aA

量与盐渍土 pH 之间呈显著的负相关关系,相关系数( $r$ )为  $-0.9866$ 。多功能调理剂施用量  $90.00 \text{ t/hm}^2$ ,与 CK 比较, pH 降低  $3.30\%$ , 差异极显著( $P < 0.01$ )。究其原因一是多功能调理剂中的牛粪、菇渣在分解过程中产生了部分的有机酸;二是多功能调理剂中的糠醛渣、硫磺是一种极强酸性物质,因而降低了盐渍土的酸碱度。

**2.4.2 对盐渍土全盐含量的影响** 全盐是盐渍土的重要化学指标。从表 7 可知,多功能调理剂施用量与盐渍土全盐之间呈显著的负相关关系,相关系数( $r$ )为  $-0.9902$ 。多功能调理剂施用量  $90.00 \text{ t/hm}^2$  时,与 CK 比较,脱盐率达到  $62.31\%$ ,差异极显著( $P < 0.01$ )。

分析这一结果产生的原因是多功能调理剂中的高价  $\text{Al}^{3+}$  置换了土壤胶体吸附的盐基离子,使其处于游离状态随灌溉水将盐分淋溶。

## 2.5 多功能调理剂施用量对盐渍土有机质及速效养分和微生物数量的影响

**2.5.1 对盐渍土有机质含量的影响** 土壤有机质是表征土壤肥力的重要指标<sup>[48-50]</sup>。从表 8 可知,多功能调理剂施用量与盐渍土有机质之间呈显著的正相关关系,相关系数( $r$ )为  $0.9999$ 。多功能调理剂施用量  $90.00 \text{ t/hm}^2$ ,与 CK 比较,有机质增加  $14.13\%$ ,差异极显著( $P < 0.01$ )。究其原因多功能调理剂含有丰富的有机质,因而提升了盐渍土有机质含量。

表 8 多功能调理剂施用量对盐渍土有机质和速效养分的影响  
Table 8 Effects of multifunctional amelioration dosages on contents of organic matter and rapid available nutrients of saline soils

多功能调理剂 (t/hm <sup>2</sup> )	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	真菌 ( $\times 10^4 \text{ cfu/g}$ )	细菌 ( $\times 10^7 \text{ cfu/g}$ )	放线菌 ( $\times 10^7 \text{ cfu/g}$ )	菌体总量 ( $\times 10^7 \text{ cfu/g}$ )
0(CK)	12.10 fB	37.24 gG	5.33 gF	109.82 bB	0.35 fC	0.89 fB	0.57 fB	1.46 fB
15	12.38 efB	51.55 fF	8.89 fE	110.42 aA	0.50 eB	1.22 eA	0.76 eA	1.98 eA
30	12.66 deB	60.84 eE	11.11 eDE	113.83 aA	0.52 deB	1.24 deA	0.80 dA	2.04 deA
45	12.95 dB	71.87 dD	12.92 dCD	118.57 aA	0.53 cdB	1.27 cdA	0.84 bcA	2.11 cdA
60	13.25 bcA	82.48 cC	14.69 cBC	122.24 aA	0.55 bcB	1.29 bcA	0.86 bA	2.15 bcA
75	13.53 abA	92.17 bB	16.51 bAB	124.74 aA	0.57 bB	1.30 abA	0.90 aA	2.20 abA
90	13.81 aA	104.64 aA	18.34 aA	126.39 aA	0.62 aA	1.32 aA	0.92 aA	2.24 aA

**2.5.2 对盐渍土速效养分含量的影响** 速效氮磷钾是植物营养的三要素。从表 8 可知,多功能调理剂施用量与盐渍土碱解氮、速效磷和速效钾之间呈显著的正相关关系,相关系数( $r$ )分别为  $0.9988$ 、 $0.9917$ 、 $0.9872$ 。多功能调理剂施用量  $90.00 \text{ t/hm}^2$ ,与 CK 比较,碱解氮、速效磷和速效钾分别增加  $108.99\%$ 、 $244.09\%$  和  $51.52\%$ ,差异极显著( $P < 0.01$ )。究其原因多功能调理剂含有氮磷钾,因而提高了盐渍土速效养分含量。

**2.5.3 对盐渍土微生物数量的影响** 从表 8 可知,多功能调理剂施用量与真菌、细菌、放线菌和菌体总量之间呈显著的正相关关系,相关系数( $r$ )分别为

$0.8952$ 、 $0.7770$ 、 $0.9077$ 、 $0.8419$ 。多功能调理剂施用量  $90.00 \text{ t/hm}^2$ ,与 CK 比较,真菌、细菌、放线菌和菌体总量分别增加  $77.14\%$ 、 $48.32\%$ 、 $61.40\%$  和  $53.43\%$ ,差异极显著( $P < 0.01$ )。分析这一结果产生的原因是多功能调理剂中固氮解磷解钾微生物菌肥的有效活菌数增加了微生物的数量。

## 2.6 多功能调理剂施用量对甜高粱植物学性状和产草量的影响

连续定点试验 2 年后,于 2014 年 9 月 10 日甜高粱收获后测定数据可知,多功能调理剂施用量与甜高粱株高、茎粗、单株鲜重、产草量呈显著的正相关关

系, 相关系数( $r$ )分别为 0.907 9, 0.906 8、0.746 2 和 0.841 6。多功能调理剂施用量  $90.00 \text{ t/hm}^2$ , 与 CK 比较, 株高、茎粗、单株鲜重和产草量分别增加了 111.36%、98.73%、121.95% 和 124.94%, 差异极显著( $P < 0.01$ )。

## 2.7 多功能调理剂最佳施用量的确定

从表 9 可知, 随着多功能调理剂施用量梯度的增加, 甜高粱增产值在增加, 但施肥利润在递减, 多功能调理剂施用量在  $75 \text{ t/hm}^2$  的基础上, 再继续增加施用量, 施肥利润出现负值(表 9)。

表 9 多功能调理剂施用量对甜高粱植物学性状和产草量的影响  
Table 9 Effects of multifunctional amelioration dosages on botanic characters and straw yields of sweet sorghums

多功能调理剂 ( $\text{t/hm}^2$ )	株高 (m)	茎粗 (cm)	单株鲜重 (kg/株)	产草量 ( $\text{t/hm}^2$ )	增产量 ( $\text{t/hm}^2$ )	增产值 (元/ $\text{hm}^2$ )	多功能调理剂成本 (元/ $\text{hm}^2$ )	施肥利润 (元/ $\text{hm}^2$ )
0(CK)	1.76 gE	1.58 eD	0.41 eC	32.64 dD	-	-	-	-
15	2.85 fD	2.32 dC	0.74 dB	59.09 cC	26.45	13 225	3 833.4	9 391.6
30	3.02 eC	2.53 cB	0.80 cA	64.17 bB	31.53	15 765	7 666.8	8 098.2
45	3.28 dB	2.81 bA	0.85 bA	68.27 bA	35.63	17 815	11 500.2	6 314.8
60	3.49 cA	2.95 bA	0.88 bA	70.50 aA	37.86	18 930	15 333.6	3 596.4
75	3.64 bA	3.07 aA	0.91 aA	72.68 aA	40.04	20 020	19 167.0	8 53.0
90	3.72 aA	3.14 aA	0.91 aA	73.42 aA	40.78	20 390	23 000.4	-2 610.4

将表 9 多功能调理剂不同梯度施用量与甜高粱产草量间的关系, 采用肥料效应回归方程  $y = a + bx + cx^2$  拟合, 得到的线性回归方程为:

$$y = 32.64 + 0.5561x - 0.0003x^2 \quad (1)$$

对回归方程进行显著性测验的结果表明回归方程拟合良好。多功能调理剂价格( $P_x$ )为 255.56 元/ $t$ , 2013—2014 年甜高粱鲜草市场收购价格( $P_y$ )平均为 500.00 元/ $t$ , 将  $P_x$ 、 $P_y$ 、回归方程的参数  $b$  和  $c$ , 代入最佳施用量计算公式( $x_0 = ((P_x/P_y) - b)/2c$ ), 求得多功能调理剂最佳施用量( $x_0$ )为  $75.00 \text{ t/hm}^2$ , 将  $x_0$  代入(1)式, 可求得甜高粱产草量( $y$ )为  $72.66 \text{ t/hm}^2$ , 统计分析结果与田间试验处理 6 基本吻合(表 9)。

## 3 结论

将营养因子、有机生态肥、盐渍土改良材料按比例合成集营养、改土为一体的多功能调理剂, 有效地改善了盐渍土的理化性质和生物学性质, 提高了甜高粱的产草量。研究表明: 不同种类盐渍土改良剂对盐渍土体积质量、pH、EC 和全盐由大到小的变化顺序依次为: 盐渍土荒滩(CK) > 抗盐丰盐碱土改良剂 > 禾康盐碱土改良剂 > 盐碱土改良剂 > 多功能调理剂; 总孔隙度、团聚体、饱和持水量、有机质、速效氮磷钾和甜高粱产草量由大到小的变化顺序依次为: 多功能调理剂 > 盐碱土改良剂 > 禾康盐碱土改良剂 > 抗盐丰盐碱土改良剂 > 盐渍土荒滩(CK)。多功能调理剂施用量与盐渍土孔隙度、团聚体、持水量、有机质、速效氮磷钾、微生物数量和甜高粱产草量之间呈正相关关系, 与盐渍土体积质量、pH 和全盐之间呈负相关关系。随着多功能调理剂施用量梯度的增加, 甜高

粱增产值在增加, 但施肥利润在递减, 多功能调理剂施用量在  $75 \text{ t/hm}^2$  的基础上, 再继续增加施用量, 施肥利润出现负值。经回归统计分析, 多功能调理剂施用量与甜高粱产草量间的线性回归方程为  $y = 32.64 + 0.5561x - 0.0003x^2$ , 多功能调理剂最佳施用量为  $75.00 \text{ t/hm}^2$ , 甜高粱产草量为  $72.66 \text{ t/hm}^2$ , 统计分析结果与田间试验处理 6 基本吻合。在盐渍土上施用多功能调理剂, 有效地改良了盐渍土理化和生物学性质, 降低了体积质量、pH、EC 和全盐, 增加了总孔隙度、团聚体、饱和持水量, 提高了有机质及速效氮磷钾和甜高粱产草量。

## 参考文献:

- [1] 陈义群, 董元华. 土壤改良剂的研究与应用进展[J]. 生态环境, 2008, 17(3): 1 282-1 289
- [2] 韩小霞. 土壤结构改良剂研究综述[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(19): 110-112
- [3] 蔡典雄, 张志田, 张镜清, 等. 土壤调理剂在北方旱地上的使用效果初报[J]. 土壤肥料, 1996(4): 34-36
- [4] 孙蓊锋, 王旭. 土壤调理剂的研究和应用进展[J]. 中国土壤肥料, 2013(1): 1-7
- [5] 王志玉, 刘作新, 赵京考. 土壤改良剂 MDM 对松嫩平原草甸碱土的改良效果[J]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 144-146
- [6] 杨宇, 金强, 卢国政, 等. 生化腐殖酸土壤改良剂对菜田盐碱土壤理化性质的影响[J]. 北方园艺, 2010(5): 45-46
- [7] 潘保原. 土壤改良物质对盐渍化土壤改良的作用[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2006
- [8] 安东, 李新平, 张永宏, 等. 不同土壤改良剂对碱积盐成土改良效果研究[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(5): 115-118

- [9] 金自学, 张芬琴. 河西走廊水资源变化对环境生态的影响[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 37-40
- [10] 赵松乔. 中国干旱半干旱地区自然资源研究[M]. 北京: 科学出版社, 1988: 89-95
- [11] 秦嘉海, 吕彪. 河西土壤与合理施肥[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 2001
- [12] 冯振生, 闫孝贡, 高玉山, 等. 石膏改良苏打盐碱土研究[J]. 土壤通报, 2001, 32(6): 97-101
- [13] 高玉山, 朱知运, 毕亚莉. 石膏改良苏打盐碱土田间定位试验研究[J]. 吉林农业科学, 2003, 28(6): 26-31
- [14] 王宇, 韩兴, 赵兰坡, 等. 硫酸铝对苏打盐碱土的改良作用研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(4): 50-53
- [15] 刘刚, 李新平, 张永宏, 等. 银北地区硫磺改良盐碱土初探[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(4): 79-82
- [16] 秦嘉海, 吕彪. 种植碱茅草改良河西走廊草甸盐土的研究[J]. 土壤通报, 1990, 21(2): 57-59
- [17] 秦嘉海. 耐盐牧草籽粒苋对河西走廊草甸盐土改土培肥效应[J]. 土壤通报, 2005, 36(5): 806-809
- [18] 秦嘉海, 吕彪. 河西走廊盐土资源及耐盐牧草改土培肥效应的研究[J]. 土壤, 2004, 36(1): 71-75
- [19] 秦嘉海. 鲁梅克斯对草甸盐土改土培肥效应研究[J]. 草业科学, 2004, 21(6): 25-27
- [20] 龙明杰, 张宏伟, 曾繁森. 高聚物土壤结构改良剂的研究[J]. 土壤学报, 2001, 38(4): 584-589
- [21] 巫东堂, 王久志. 土壤结构改良剂及其应用[J]. 土壤通报, 1990, 21(3): 140-143
- [22] 孙云秀. 土壤结构改良剂的改土效果及其使用的研究[J]. 干旱地区研究, 1988(3): 51-52
- [23] 徐金印. 几种土壤结构改良剂的制备及其效用[J]. 土壤学报, 1984, 21(3): 320-322
- [24] 黄占斌, 张玲春, 董莉, 等. 不同类型保水剂性能及其对玉米生长效应的比较[J]. 水土保持学报, 2007, 21(1): 140-143
- [25] 黄麟, 叶建仁, 朱云峰. 保水剂及其在农林业中的应用[J]. 林业科技开发, 2007, 21(3): 12-15
- [26] 谢伯承, 薛绪掌, 王纪华, 等. 保水剂对土壤持水性状的影响[J]. 水土保持通报, 2003, 23(6): 44-46
- [27] 秦嘉海, 张春年. 糠醛渣的改土增产效应[J]. 土壤通报, 1994, 25(5): 237-238
- [28] 秦嘉海, 陈广全. 糠醛渣混合基质在番茄无土栽培中的应用[J]. 中国蔬菜, 1997(4): 13-15
- [29] 秦嘉海, 金自学, 刘金荣. 含钾有机废弃物糠醛渣改土培肥效应研究[J]. 土壤通报, 2007, 38(4): 705-708
- [30] 李云玲, 谢英荷, 洪坚平. 生物菌肥在不同水分条件下对土壤微生物生物量碳氮的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2004, 10(6): 790-793
- [31] 孙玮振, 王朔. 生物菌肥料对糯玉米农艺性状和品质的影响[J]. 大麦与谷类科学, 2010(4): 41-43
- [32] 明道绪. 田间试验与统计分析[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 185-188
- [33] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 科学技术出版社, 1978: 110-218
- [34] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析法[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 106-208
- [35] 陈伦寿, 李仁岗. 农田施肥原理与实践[M]. 北京: 中国农业出版社, 1983: 185-186
- [36] 陕西省农林学校. 土壤肥料学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1987: 227-228
- [37] 于秀林, 任雪松. 多元统计分析[M]. 北京: 中国统计出版社, 1999: 166-170
- [38] 陈祯. 土壤容重变化与土壤水分状况和土壤水分检测的关系研究[J]. 节水灌溉, 2010(12): 47-50
- [39] 陈晓燕, 田有亮, 包志刚, 等. 大青山主要植被类型土壤物理特性的研究[J]. 水土保持通报, 2009, 29(5): 30-34
- [40] 石辉. 转移矩阵法评价土壤团聚体稳定性[J]. 水土保持通报, 2006, 26(3): 91-95
- [41] 温磊磊, 郑粉莉, 沈海鸥, 等. 东北典型黑土区农耕土壤团聚体流失特征[J]. 土壤学报, 2015, 52(3): 489-498
- [42] 候晓静, 杨劲松, 赵曼, 等. 耕作方式对滨海盐渍土有机碳含量及团聚体特性的影响[J]. 土壤, 2015, 47(4): 781-789
- [43] 汪超, 李福春, 阚尚, 等. 黑垆土有机碳在团聚体中的分配及其保护机制[J]. 土壤, 2015, 47(1): 49-54
- [44] 陕西省农林学校. 土壤肥料学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1987: 26-27
- [45] 张光灿, 夏江宝, 王贵霞, 等. 鲁中花岗岩山区人工林土壤水分物理性质[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 44-48
- [46] 谢伯承, 薛绪掌, 王纪华, 等. 保水剂对土壤持水性状的影响[J]. 水土保持通报, 2003, 23(6): 44-46
- [47] 陆欣. 土壤肥料学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2004: 50-52
- [48] 罗海波, 刘方, 刘元生, 等. 喀斯特石漠化地区不同植被群落的土壤有机质变化[J]. 林业科学, 2009, 45(9): 24-28
- [49] 候晓静, 杨劲松, 王相平, 等. 不同施肥方式下滩涂围垦农田土壤有机碳及团聚体有机碳的分布[J]. 土壤学报, 2015, 52(4): 818-827
- [50] 李忠佩, 刘明, 江春玉. 红壤典型区土壤有机质的分解、积累与分布特征研究进展[J]. 土壤, 2015, 47(2): 220-228



## Effects of Multifunctional Ameliorations on Physico-chemical Properties of Saline Soils and on Straw Yield of Sweet Sorghum in Hexi Inland of Gansu

ZHANG Jianzhong<sup>1,2</sup>, YAN Zhibin<sup>3</sup>, WAN Xue<sup>3</sup>, MA Shijun<sup>3</sup>, QIN jiahai<sup>2</sup>, ZHAO Yunchen<sup>1\*</sup>

(1 College of Agriculture and Biology Technology, Hexi University, Zhangye, Gansu 734000, China; 2 Zhangye Seeds Administration of Gansu Province, Zhangye, Gansu 734000, China; 3 Gansu Dunhuang Seed Co. LTD., Jiuquan, Gansu 735000, China)

**Abstract:** A field plot experiment was conducted in order to study the effects of multifunctional conditioners on physico-chemical properties of saline soils and on straw yield of sweet sorghum in Hexi Inland of Gansu. The combination formula of the multifunctional ameliorations were A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>1</sub> (nutritional factor 1.80 t/hm<sup>2</sup>, eco-organic fertilizer 72 t/hm<sup>2</sup>, saline soil amelioration 1.20 t/hm<sup>2</sup>). The results showed that the effects of different conditioners on soil bulk density, pH, EC and total salt content were in order of saline soil wasteland (CK) > Kangyanfeng saline soil amelioration > Hekang saline soil amelioration > saline soil amelioration > multifunctional amelioration; the effects of different ameliorations on total porosity, aggregates, saturated water capacity, organic matter, rapid available NPK, sweet sorghum straw yield were in order of multifunctional amelioration > saline soil amelioration > Hekang saline soil amelioration > Kangyanfeng saline soil amelioration > saline soil wasteland (CK). Compared to CK, Multifunctional amelioration decreased soil bulk density, pH value and total salt content by 28.05%, 3.63% and 62.16%, respectively; increased total porosity, aggregates and saturated water capacity by 45.55%, 45.55% and 32.91%, respectively; increased organic matter, alkali-hydro nitrogen, available phosphorus and available potassium contents by 11.74%, 145.01%, 206.56% and 13.35% respectively; increased sweet sorghum seedling emergence, plant height, stem diameter, fresh weight per plant and straw yield by 123.69%, 120.00%, 105.29%, 133.33% and 181.13%, respectively. Multifunctional amelioration dosage was positively correlated with saline soil porosity, aggregates, water holding capacity, organic matter, rapid available NPK, microorganism quantity, sweet sorghum straw yield, but negatively correlated with bulk density, pH value and total salt content. The regression model between multifunctional amelioration dosage ( $x$ ) and sweet sorghum straw yield ( $y$ ) was:  $y = 32.64 + 0.5561x - 0.0003x^2$ , the optimal dosage was 75.00 t/hm<sup>2</sup> and sweet sorghum straw yield was 72.66 t/hm<sup>2</sup>. The above results proved that the use of multifunctional amelioration can effectively improve saline soil properties by reducing bulk density, pH, EC, and total salt content, increase total porosity, aggregates, saturated water capacity, organic matter and available NPK, and increase sweet sorghum straw yield.

**Key words:** Multifunctional conditioner; Saline soil; Physico-chemical properties; Sweet sorghum