

# 不同改良剂对滨海盐碱地的改良效果

李旭霖<sup>1,2</sup>, 刘庆花<sup>1,2</sup>, 柳新伟<sup>1,2</sup>, 胡景田<sup>1,2</sup>, 杨聚才<sup>1,2</sup>, 崔德杰<sup>1,2</sup>

(1. 青岛农业大学 资源与环境学院, 山东 城阳 266109;

2. 东营市“青农”黄河三角洲盐碱地综合利用及生态农业研究中心, 山东 东营 257452)

**摘要:** [目的] 研究不同改良剂在黄河入海口附近滨海重盐碱地上的改良效果, 选择出适合于该区滨海重盐碱地上的盐碱改良剂。[方法] 选用禾康、磷石膏、微生物菌肥、土生、药肥和有机肥在黄河三角洲毛坨试验站进行盐碱地改良试验, 分析不同盐碱改良剂对滨海重盐碱地的物理、化学、生物学性质的改良效应。[结果] (1) 所有改良剂均能显著降低盐碱地土壤容重, 增强土壤通透性, 尤其是磷石膏和禾康效果更显著; (2) 所有改良剂使土壤电导率明显下降(至少 15.9% 以上), 具有较好的压盐降盐作用。(3) 对盐碱棉田脱盐效果较好, 能有效改善盐碱土壤化学性质的改良剂是磷石膏和禾康; (4) 所有改良剂均能增加盐碱地土壤微生物量, 增强土壤呼吸, 其效果最好的是有机肥和有机肥菌肥混施处理; (5) 能较好地改善盐碱地土壤肥力, 提高棉花产量的改良剂是有机肥及有机肥菌肥混施处理。[结论] 磷石膏、禾康、有机肥及有机肥菌肥混施处理均能明显改良盐碱土物理、化学、生物学性质。

**关键词:** 盐碱改良剂; 物化性质; 生物学性质; 滨海盐碱地

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2015)02-0219-06

中图分类号: S156.42

## Improving Effect of Different Amendment Treatments in Coastal Saline-Alkali Soil

LI Xulin<sup>1,2</sup>, LIU Qinghua<sup>1,2</sup>, LIU Xinwei<sup>1,2</sup>, HU Jingtian<sup>1,2</sup>, YANG Jucui<sup>1,2</sup>, CUI Dejie<sup>1,2</sup>

(1. College of Resources and Environment, Qingdao Agricultural University, Chengyang,

Shandong 266109, China; 2. “Qingnong” Research Center of Ecological Agriculture and Comprehensive

Utilization on Saline-Alkali Land in the Yellow River Delta Dongying City, Dongying, Shandong 257452, China)

**Abstract:** [Objective] Studing the amelioration effect of different soil amendments that are potentially suitable for costal heavy saline-alkali soil. [Methods] Hekang, phosphogypsum, micro-organism fertilizer, Tusheng, officinal-fertilizer and organic manure were used to amend saline and alkali soil in Maotuo field experiment station of Yellow River Delta. The effects of soil amendments on physiochemical and biological characteristics of costal strongly salinized soil were studied. [Results] (1) The results showed that the soil bulk density decreased and the aeration decreased when the soil amendments were added, among which phosphogypsum and Hekang had good amelioration effects; (2) Electric conductivity of soil was observed obviously decreased when each of the amendments added with a 15.9% or over decrease. The salty effect of saline and alkali on soil could be mitigated with soil amendments, especially with cotton field; (3) The phosphogypsum and Hekang was better than others in mitigating salt and modifying soil chemical properties; (4) Moreover, the microbial biomass and soil respiration increased with the addition of soil amendments, especially with the additions of organic manure or micro-organism fertilizer treatments; (5) Soil fertility and cotton production could increase by organic manure or micro-organism fertilizer treatments. [Conclusion] The physiochemical and biological characteristics of saline alkali soil can be improved with Hekang, phosphogypsum, micro-organism fertilizer, and organic manure amendments.

**Keywords:** amendments for improving saline and alkali soil; physicochemical property; biological characteristics; costal saline-alkali soil

收稿日期: 2014-02-20

修回日期: 2014-04-02

资助项目: 山东省现代农业产业技术体系建设专项“棉花类”[鲁农科技字(2012)26号]; “十二五”农村领域国家科技计划项目(2012BAD05B02)

第一作者: 李旭霖(1964—), 男(汉族), 陕西省凤翔县人, 博士, 副教授, 主要从事农业持续发展与资源环境信息技术研究。E-mail: lixulin@qau.edu.cn.

通信作者: 崔德杰(1963—), 男(汉族), 山东省莱西市人, 博士, 教授, 主要从事土壤肥料科学研究。E-mail: cuidejie@163.com.

滨海地区是我国东部特殊的盐碱土集中分布区,如何开发和利用盐碱土始终是沿海地区农业生产中的重大课题之一。人们在水利工程改良的基础上,探索物理、化学、生物学深化改良措施,以保证盐碱地农业生产的持续稳定进行。21 世纪以来,“盐碱丰<sup>[1]</sup>”、“禾康<sup>[2]</sup>”、“康地宝<sup>[3]</sup>”、“施地佳<sup>[4]</sup>”等土壤盐碱改良剂在盐碱地区大量使用起来,并取得了良好的效果;微生物菌肥成为近年盐碱土改良新手段<sup>[5]</sup>。同时,随着人们对生态环境质量的越来越重视,开始重视利用各种工农业废弃物改良剂,如脱硫石膏、糠醛渣、沼渣肥等来改良盐碱土。研究表明利用生产高浓度磷肥的副产物磷石膏<sup>[6]</sup>、柠檬酸厂排出的柠檬酸渣<sup>[7]</sup>,消除煤炭燃烧过程中产生的污染物硫氧化物的除硫装置新工艺中的副产物脱硫石膏<sup>[8]</sup>以及生产沼气后的残余物沼渣、沼液<sup>[9]</sup>等对改良碱土都有显著作用。面对众多繁杂的盐碱地改良产品,学者们就通过田间试验选择适合于不同区域的盐碱地改良产品,进行盐碱

地改良。有关学者分别就不同改良剂对宁夏盐碱土<sup>[10]</sup>、黄河三角洲盐碱土<sup>[11]</sup>和江苏滨海盐碱土<sup>[12]</sup>的改良效果进行了研究,但对黄河入海口附近的滨海盐碱土改良效果报道甚少。本研究就不同改良剂在黄河入海口附近的滨海重盐碱地上的治理效果作以分析对比,以期选择出适合于黄河入海口附近滨海重盐碱地上的盐碱改良剂,为黄河三角洲沿海盐碱地的改良利用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地

试验地为黄河三角洲入海口附近的东营市利津县毛坨村的重盐碱地棉田试验田,土壤为碱化盐土,盐分特征详见表 1。试验自 2010 年 4 月 10 日开始,收获于 2010 年 9 月初至 11 月中旬。棉花播种、生产管理按不同时期棉花的常规管理进行,供试棉花品种为鲁棉研 28。

表 1 滨海盐碱地棉田试验田的盐分特征

pH 值	电导率/ (mS · cm <sup>-1</sup> )	全盐量/ (g · kg <sup>-1</sup> )	土壤盐分离子组成/(g · kg <sup>-1</sup> )					
			CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
8.38	2.04	5.37	—	0.672	0.314	0.291	2.386	4.979

### 1.2 供试材料及试验设计

试验设对照、磷石膏、禾康、有机肥、有机肥微生物菌肥混施、土生、土生药肥混施 7 个处理,每个处理 3 次重复,随机区组排列,每个小区面积为 66 m<sup>2</sup>。

供试材料:磷石膏为含量 1% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的化工废弃物,禾康为北京飞鹰绿地科技发展公司生产的“禾康”

盐碱清除剂;有机肥为牛粪,微生物菌肥为“禾神元”微生物菌肥,粉末状制品,需与有机物碎屑混合施用;土生为韩国生产的“土生”微生物菌类土壤改良剂,药肥是多种中药高浓缩混合制剂。施用情况详见表 2。0—30 cm 土壤样品采集及处理与测试方法相对应,采样时间仅在播前和收获后进行。

表 2 不同盐碱改良剂施用情况

处理	对照	磷石膏	禾康	有机肥	有机肥菌肥混施	土生	土生药肥混施
每 667 m <sup>2</sup> 施量	0	300 kg	2 000 ml	1 500 kg	(1 500+15) kg	500 ml	(500+250) ml
施用方法	—	均匀撒施,耕翻入土	播前兑水稀释,随水灌溉	均匀撒施,耕翻入土	均匀撒施,耕翻入土	播前兑水稀释,随水灌溉	播前兑水稀释,水灌溉

### 1.3 测定指标及方法

(1) 物理指标<sup>[13]</sup>。土壤容重、土壤孔隙度采用环刀法测定计算;土壤含水量采用烘干法测定。

(2) 化学指标<sup>[14-15]</sup>。土壤有机质采用重铬酸钾容量法测定,土壤 CEC 采用 NaOAc 法测定;土壤 pH 值采用 pH 计测定,水土比为 2.5 : 1;土壤电导率采用电导率仪测定,Na<sup>+</sup> 和 K<sup>+</sup> 含量采用火焰光度计法测定,Cl<sup>-</sup> 采用硝酸银滴定法测定,Ca<sup>2+</sup> 和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 含量采用 EDTA 容量法测定。

(3) 生物指标<sup>[16]</sup>。细菌采用牛肉膏蛋白胨培养

基,真菌采用马丁氏(Martin)培养基,放线菌采用高氏一号培养基。土壤呼吸强度采用碱液吸收 CO<sub>2</sub> 标定法测定;作物株高、产量田间测量。

(4) 数据处理。采取 Excel 和 SPSS 11.0 软件对试验数据进行分析统计。

## 2 结果与分析

### 2.1 盐碱地土壤物理性质变化

由表 3 可以看出,与对照相比,所有处理均能使滨海重盐碱地的土壤容重有不同程度下降,孔隙度增

加,土壤含水量提高。土壤容重减少和孔隙度增加均以禾康最大,变化达 9.37%~14.37%和 18.68%~25.02%;土生最少,为 0.41%~9.11%和 0.76%~15.86%;其顺序依次为:禾康>磷石膏>有机肥菌肥混施>有机肥>土生药肥混施>土生。土壤含水量增加以磷石膏最大,变化达 9.37%~14.37%;土生最少,为 0.41%~9.11%;其顺序依次为:磷石膏>

禾康>有机肥菌肥混施>有机肥>土生药肥混施>土生。

与对照相比,禾康、磷石膏、有机肥菌肥混施和有机肥处理在 0—30 cm 土层范围内均能引起显著变化,但土生药肥混施和土生处理仅在 0—5 cm 土层范围内能引起显著变化,5—30 cm 土层范围内能引起的变化不显著(表 3)。

表 3 不同改良剂对滨海重盐碱地土壤含水量、土壤容重和孔隙度的影响

项目	土层深度/cm	对照	磷石膏	禾康	有机肥	有机肥菌肥混施	土生	土生药肥混施
土壤含水量/%	0—5	18.70 <sup>c</sup>	25.97 <sup>ab</sup>	26.81 <sup>a</sup>	24.50 <sup>ab</sup>	25.14 <sup>ab</sup>	23.62 <sup>b</sup>	24.27 <sup>b</sup>
	5—15	18.74 <sup>bcd</sup>	22.42 <sup>a</sup>	20.68 <sup>ab</sup>	20.52 <sup>abc</sup>	21.20 <sup>ab</sup>	18.04 <sup>cd</sup>	18.15 <sup>cd</sup>
	15—30	17.17 <sup>cd</sup>	25.77 <sup>a</sup>	22.11 <sup>abc</sup>	22.14 <sup>abc</sup>	22.32 <sup>ab</sup>	18.57 <sup>bcd</sup>	20.11 <sup>bcd</sup>
土壤容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	0—5	1.68 <sup>a</sup>	1.48 <sup>cd</sup>	1.44 <sup>d</sup>	1.53 <sup>b</sup>	1.52 <sup>bc</sup>	1.53 <sup>b</sup>	1.53 <sup>b</sup>
	5—15	7.72 <sup>ab</sup>	1.54 <sup>d</sup>	1.54 <sup>d</sup>	1.62 <sup>c</sup>	1.58 <sup>c</sup>	1.71 <sup>ab</sup>	1.69 <sup>b</sup>
	15—30	1.77 <sup>a</sup>	1.63 <sup>c</sup>	1.60 <sup>c</sup>	1.60 <sup>c</sup>	1.59 <sup>c</sup>	1.70 <sup>b</sup>	1.69 <sup>b</sup>
孔隙度/%	0—5	36.49 <sup>d</sup>	44.23 <sup>ab</sup>	45.61 <sup>a</sup>	42.30 <sup>c</sup>	42.49 <sup>bc</sup>	42.27 <sup>c</sup>	42.29 <sup>c</sup>
	5—15	35.04 <sup>cd</sup>	41.98 <sup>a</sup>	42.04 <sup>a</sup>	38.89 <sup>b</sup>	40.19 <sup>b</sup>	35.31 <sup>cd</sup>	36.20 <sup>c</sup>
	15—30	33.39 <sup>c</sup>	38.60 <sup>a</sup>	39.63 <sup>a</sup>	39.53 <sup>a</sup>	40.07 <sup>a</sup>	35.83 <sup>b</sup>	36.04 <sup>b</sup>

注:LSD 检验,同一列中字母相同表示差异不显著( $p < 0.05$ )。下同。

## 2.2 盐碱地土壤化学性质变化

不同改良剂对黄河三角洲盐碱地的土壤 pH 值、电导率与阳离子交换量(CEC)及土壤养分和土壤盐分分析表明(表 4),所有改良剂处理的 pH 值均比对照有所下降,但下降幅度不同。

其中磷石膏处理下降的幅度最大,下降了 3.32%,土生最少,为 1.32%,依次表现为:磷石膏>

禾康>有机肥菌肥混施>有机肥>土生药肥混施>土生。所有改良剂处理的电导率均比对照有明显下降,起到了较好的压盐降盐作用。不同处理的下降幅度差别较大,以禾康处理效果最明显,下降了 47.4%;有机肥处理最少,也达到了 15.91%。降盐作用大小依次表现为:禾康>磷石膏>土生药肥混施>有机肥菌肥混施>土生>有机肥。

表 4 不同改良剂对滨海盐碱地 pH 值和电导率的影响

项目	对照	磷石膏	禾康	有机肥	有机肥菌肥混施	土生	土生药肥混施
pH 值	8.34 <sup>a</sup>	8.05 <sup>e</sup>	8.09 <sup>de</sup>	8.18 <sup>bc</sup>	8.13 <sup>cd</sup>	8.22 <sup>b</sup>	8.18 <sup>bc</sup>
电导率/(mS·cm <sup>-1</sup> )	2.000 <sup>ab</sup>	1.236 <sup>cd</sup>	1.047 <sup>d</sup>	1.674 <sup>abc</sup>	1.403 <sup>bcd</sup>	1.520 <sup>abcd</sup>	1.328 <sup>cd</sup>

土壤有机质、阳离子交换量是衡量土壤性能的重要指标,直接反映了土壤的保肥、供肥的性能以及缓冲能力。由表 5 可知,与对照相比,所有改良剂处理均能显著提高土壤有机质含量,增长率稳定在 20%以上,其中有机肥、有机肥菌肥混施处理对 0—30 cm 土壤有机质含量均达到极显著水平,增加率达 28.17%~42.24%和 35.7%~42.93%;依次表现为:有机肥菌肥混施>有机肥>禾康>磷石膏>土生药肥混施>土生。与对照相比,所有改良剂处理均能提高土壤阳离子交换量,并且在 0—5 cm 土层均达显著水平。有机肥菌肥混施处理、有机肥处理增加率最

高,分别达 28.6%~64.78%和 22.78%~63.44%;土生最少,为 8.85%~27.76%;提高 CEC 作用大小依次表现为:有机肥菌肥混施>有机肥>禾康>磷石膏>土生药肥混施>土生。并且随着土层深度的增加,土壤有机质和阳离子交换量呈降低态势。

各种改良剂对土壤养分的影响有一定作用。所有改良剂处理均能显著提高土壤速效养分,其中有机肥、有机肥菌肥混施处理对土壤速效养分影响最大,土生最差;不同改良剂处理对不同土壤速效养分影响效果不同,碱解氮增加率具体依次表现为:有机肥菌肥混施>有机肥>土生药肥混施>禾康>磷石膏>

土生,速效磷增加率依次表现为:有机肥菌肥混施>磷石膏>有机肥>禾康>土生药肥混施>土生,速效钾增加率依次表现为:有机肥菌肥混施>有机肥>土生药肥混施>禾康>磷石膏>土生。

表 5 不同改良剂对滨海盐碱地 CEC 和有效养分的影响

指标	土层深度/ cm	对照	磷石膏	禾康	有机肥	有机肥菌肥混施	土生	土生药肥混施
有机质/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	0—5	11.12 <sup>b</sup>	14.22 <sup>a</sup>	14.13 <sup>a</sup>	15.82 <sup>a</sup>	15.89 <sup>a</sup>	13.27 <sup>ab</sup>	13.44 <sup>ab</sup>
	5—15	9.05 <sup>b</sup>	11.39 <sup>ab</sup>	12.12 <sup>a</sup>	11.60 <sup>a</sup>	12.28 <sup>a</sup>	11.62 <sup>a</sup>	11.33 <sup>ab</sup>
	15—30	8.24 <sup>b</sup>	10.96 <sup>ab</sup>	9.90 <sup>ab</sup>	11.24 <sup>a</sup>	11.52 <sup>a</sup>	10.91 <sup>ab</sup>	10.84 <sup>ab</sup>
CEC/ ( $cmol \cdot kg^{-1}$ )	0—5	11.20 <sup>c</sup>	15.60 <sup>b</sup>	16.38 <sup>ab</sup>	18.30 <sup>a</sup>	18.46 <sup>a</sup>	14.31 <sup>b</sup>	14.97 <sup>b</sup>
	5—15	10.62 <sup>b</sup>	13.36 <sup>a</sup>	13.59 <sup>a</sup>	13.04 <sup>ab</sup>	13.66 <sup>a</sup>	11.56 <sup>ab</sup>	12.42 <sup>ab</sup>
	15—30	8.42 <sup>c</sup>	10.74 <sup>abc</sup>	11.23 <sup>abc</sup>	13.29 <sup>ab</sup>	13.87 <sup>a</sup>	9.44 <sup>c</sup>	10.11 <sup>bc</sup>
碱解氮/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )	0—5	47.6 <sup>b</sup>	59.2 <sup>ab</sup>	61.9 <sup>ab</sup>	68.1 <sup>a</sup>	72.6 <sup>a</sup>	59.2 <sup>ab</sup>	60.3 <sup>ab</sup>
	5—15	39.7 <sup>b</sup>	52.7 <sup>ab</sup>	53.4 <sup>ab</sup>	57.3 <sup>a</sup>	62.5 <sup>a</sup>	50.4 <sup>ab</sup>	51.6 <sup>ab</sup>
	15—30	30.1 <sup>a</sup>	38.0 <sup>a</sup>	33.8 <sup>a</sup>	39.9 <sup>a</sup>	44.0 <sup>a</sup>	31.8 <sup>a</sup>	39.7 <sup>a</sup>
速效磷/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )	0—5	67.5 <sup>b</sup>	95.0 <sup>a</sup>	85.1 <sup>ab</sup>	93.4 <sup>a</sup>	97.3 <sup>a</sup>	75.9 <sup>ab</sup>	83.5 <sup>ab</sup>
	5—15	50.0 <sup>b</sup>	71.4 <sup>ab</sup>	66.0 <sup>ab</sup>	71.4 <sup>ab</sup>	73.6 <sup>a</sup>	56.9 <sup>ab</sup>	64.5 <sup>ab</sup>
	15—30	43.9 <sup>a</sup>	53.1 <sup>a</sup>	53.1 <sup>a</sup>	54.6 <sup>a</sup>	55.4 <sup>a</sup>	47.7 <sup>a</sup>	53.8 <sup>a</sup>
速效钾/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )	0—5	83.6 <sup>c</sup>	93.8 <sup>abc</sup>	95.9 <sup>abc</sup>	108.5 <sup>ab</sup>	116.9 <sup>a</sup>	87.5 <sup>bc</sup>	95.9 <sup>abc</sup>
	5—15	62.8 <sup>b</sup>	75.0 <sup>ab</sup>	72.9 <sup>ab</sup>	85.4 <sup>a</sup>	87.5 <sup>a</sup>	68.7 <sup>ab</sup>	75.0 <sup>ab</sup>
	15—30	51.5 <sup>a</sup>	56.1 <sup>a</sup>	60.3 <sup>a</sup>	70.8 <sup>a</sup>	77.1 <sup>a</sup>	60.3 <sup>a</sup>	64.5 <sup>a</sup>

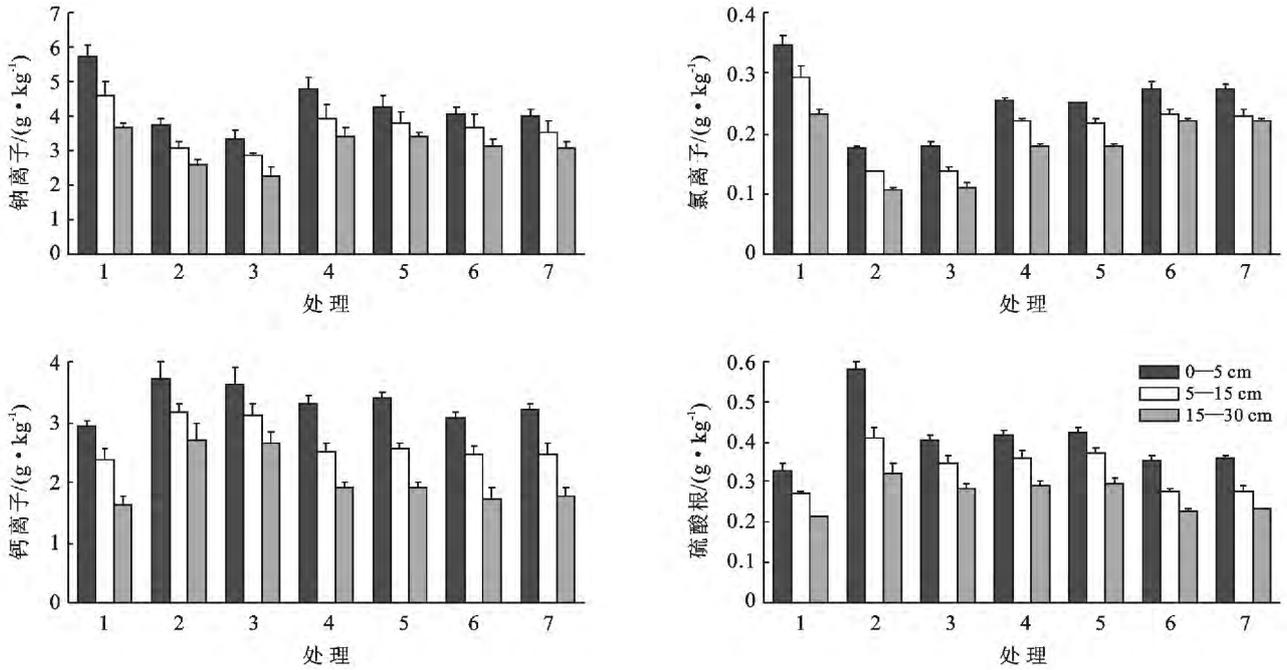
仅有机肥菌肥混施和有机肥处理在 0—15 cm 范围内与对照差异显著,速效磷在表层差异显著外,其他处理均差异不显著(表 5)。说明有机肥菌肥混施、有机肥处理对土壤肥力的贡献较大,变化较为明显,而其他盐碱改良剂对土壤肥力作用不大。分析原因可能是由于有机肥施入土中,大量的有机质腐解转化为速效的氮磷钾,除一部分被当季作物吸收利用外,尚有部分残留土中,从而改善了土壤养分状况。磷石膏对有机质含量、速效磷含量的提高作用达到显著水平,与磷石膏组成有关。磷石膏含有部分的有机物质和  $P_2O_5$ , 转化后增加了土壤中的有机质含量和有效磷含量。

由于滨海盐碱地深受海水影响,呈氯化钠型盐碱地类型。因此,在土壤盐离子中,主要分析  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$  和  $Cl^-$ 。从图 1 可以看出,所有改良剂处理均能降低土壤中的  $Na^+$  和  $Cl^-$  含量, $Na^+$  含量减少了 7.35%~42.53%, $Cl^-$  含量减少 4.38%~54.1%,除土生、土生药肥混施处理对 15—30 cm 土层影响外均达到差异显著水平;随着深度增加  $Na^+$  和  $Cl^-$  含量降低程度在减小。不同改良剂处理对盐碱土盐分影响不同。对  $Na^+$  含量影响最大的是禾康、磷石膏,降低幅度达 29.12%~42.53%;影响最小的为有机肥,仅为 7.35%~16.6%; $Na^+$  含量影响作用大小依次为:禾康>磷石膏>土生药肥混施>土生>有机肥菌肥混施>有机肥。影响  $Cl^-$  含量最大的是磷石膏和禾康,减少幅度在 50%左右;影响最小的为土生、土

生药肥混施,在 0—5 cm,5—15 cm 土层减少 20%以上,15—30 cm 土层仅减少 5%左右; $Cl^-$  含量影响作用大小依次为:磷石膏>禾康>有机肥菌肥混施>有机肥>土生药肥混施>土生。说明化学改良剂对  $Na^+$  和  $Cl^-$  影响最显著,有机肥有一定作用。与禾康、磷石膏均能降低盐碱土的容重,提高孔隙度和透水速率,增强灌水压盐密切相关。

从图 1 可以看出,所有改良剂处理均能提高土壤中的  $Ca^{2+}$  和  $SO_4^{2-}$  含量, $Ca^{2+}$  含量提高 3.36%~68.68%, $SO_4^{2-}$  含量提高 0.36%~75.28%;随着深度增加  $Ca^{2+}$  和  $SO_4^{2-}$  含量增加程度在提高。

对  $Ca^{2+}$  和  $SO_4^{2-}$  含量影响最大的是磷石膏,分别增加了 26.13%~68.68%和 50.64%~75.28%,磷石膏、禾康、有机肥菌肥混施、有机肥处理均达到差异显著水平;影响最小的为土生药肥混施、土生,分别仅增加了 3.36%~9.89%和 0.36%~8.04%,与对照差异不显著; $Ca^{2+}$  提高程度大小依次为:磷石膏>禾康>有机肥菌肥混施>有机肥>土生药肥混施>土生, $SO_4^{2-}$  提高程度大小依次为:磷石膏>有机肥菌肥混施>有机肥>禾康>土生药肥混施>土生。磷石膏能显著增加土壤中的  $Ca^{2+}$  和  $SO_4^{2-}$  含量,其原因是磷石膏成份含有一定量的  $CaO$ , $CaSO_4 \cdot H_2O$ 。 $Ca^{2+}$  和  $SO_4^{2-}$  作为外源性离子被直接加入土壤并被交换释放出来留在碱土中,碱土中的代换性 Na 被磷石膏的  $Ca^{2+}$  所交换,增加了土壤中吸附  $Ca^{2+}$  的含量。



注:1,2,3,4,5,6,7 分别表示对照,磷石膏,禾康,有机肥,有机肥菌肥混施,土生和土生药肥混施。下同。

图 1 不同改良剂对滨海盐碱地土壤 Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 含量的影响

2.3 盐碱地生物学性质变化

土壤微生物主要包括细菌,真菌,放线菌 3 大类,是土壤肥力水平的活性指标。由表 6 可得,所有改良剂处理对滨海重盐碱地土壤中的微生物都有显著影响。

细菌为 4.60×10<sup>6</sup> 个/g~1.07×10<sup>7</sup> 个/g,比对照增加 10%~140.66%;真菌为 1.38×10<sup>3</sup> 个/g~3.88×10<sup>3</sup> 个/g,除土生表层减少外其它处理比对照增加 3.51%~188.32%;放线菌为 4.5×10<sup>5</sup> 个/g~10.8×10<sup>5</sup> 个/g,除土生表层减少外其它处理比对照增加了 17.95%~209.52%;增加作用依次为:有机肥菌肥混

施>有机肥>禾康>磷石膏>土生药肥混施>土生。0—5 cm 土层有机肥菌肥混施、有机肥、禾康、磷石膏处理能显著增加盐碱土壤中的细菌、真菌、放线菌的数量,但磷石膏对 3 种菌的影响均不显著,禾康对真菌、放线菌的影响也不显著。在 5—15 cm 和 15—30 cm 土层有机肥菌肥混施、有机肥处理对细菌、真菌、放线菌数量的提升作用均显著。不同改良剂没有造成菌种比例的变化,从菌种之间来看 3 种菌以细菌占大多数,真菌最少;从土层之间来看,3 种菌数量都是 0—5 cm 土层上最多,随着土层深度的增加 3 种菌的数量迅速减少。

表 6 不同改良剂对滨海盐碱地土壤细菌、真菌、放线菌数量的影响

处理	细菌/(10 <sup>5</sup> 个·g <sup>-1</sup> )			真菌/(10 <sup>2</sup> 个·g <sup>-1</sup> )			放线菌/(10 <sup>5</sup> 个·g <sup>-1</sup> )		
	0—5 cm	5—15 cm	15—30 cm	0—5 cm	5—15 cm	15—30 cm	0—5 cm	5—15 cm	15—30 cm
对照	69.2 <sup>de</sup>	51.8 <sup>d</sup>	42.5 <sup>cd</sup>	28.5 <sup>bc</sup>	17.0 <sup>c</sup>	12.2 <sup>b</sup>	6.5 <sup>bc</sup>	4.0 <sup>d</sup>	3.5 <sup>e</sup>
磷石膏	82.8 <sup>bcd</sup>	77.0 <sup>b</sup>	63.3 <sup>b</sup>	32.3 <sup>abc</sup>	26.3 <sup>ab</sup>	32.7 <sup>a</sup>	8.7 <sup>ab</sup>	8.0 <sup>a</sup>	6.8 <sup>bc</sup>
禾康	90.7 <sup>abc</sup>	78.2 <sup>b</sup>	62.2 <sup>b</sup>	33.2 <sup>abc</sup>	27.8 <sup>a</sup>	26.7 <sup>a</sup>	8.8 <sup>ab</sup>	7.7 <sup>ab</sup>	6.5 <sup>bcd</sup>
有机肥	94.2 <sup>ab</sup>	83.2 <sup>ab</sup>	94.0 <sup>a</sup>	34.8 <sup>ab</sup>	25.8 <sup>ab</sup>	29.8 <sup>a</sup>	9.8 <sup>a</sup>	9.3 <sup>a</sup>	10.8 <sup>a</sup>
有机肥菌肥混施	107.2 <sup>a</sup>	89.5 <sup>a</sup>	100.7 <sup>a</sup>	38.8 <sup>a</sup>	27.3 <sup>a</sup>	28.3 <sup>a</sup>	9.5 <sup>ab</sup>	7.2 <sup>abc</sup>	8.7 <sup>b</sup>
土生	77.0 <sup>cd</sup>	62.7 <sup>c</sup>	46.0 <sup>cd</sup>	25.3 <sup>cd</sup>	18.7 <sup>c</sup>	13.8 <sup>b</sup>	5.3 <sup>c</sup>	5.2 <sup>bcd</sup>	4.5 <sup>cde</sup>
土生药肥混施	80.7 <sup>bcd</sup>	64.8 <sup>c</sup>	50.3 <sup>c</sup>	29.5 <sup>bc</sup>	21 <sup>bc</sup>	16.3 <sup>b</sup>	7.7 <sup>abc</sup>	5.0 <sup>cd</sup>	4.8 <sup>cde</sup>

土壤呼吸是表征土壤质量和肥力的重要生物学指标。由图 2 可以看出,与对照相比,所有改良剂处理均明显增强土壤呼吸强度,增加率 14.73%~122.09%;以有机肥菌肥混施、有机肥处理增强作用最明显,分别

增加达 75.63%~122.09%和 54.87%~110.85%,达到显著差异水平;最小的是土生、土生药肥混施处理,仅为 16.29%~22.33%和 14.73%~22.73%;其作用大小依次为:有机肥菌肥混施>有机肥>禾康>磷

石膏>土生药肥混施>土生。随着土层深度的增加,土壤呼吸强度减弱。

由表 7 可以看出,不同改良剂处理对种植棉花的株高提高明显不同。以磷石膏、禾康、土生药肥混施处理最为明显,对株高的影响达到显著水平,株高均比对照高 10% 以上;有机肥、有机肥菌肥混施处理对株高的影响不显著。施用改良剂使棉花产量明显提高,均产达到 1 200 kg/hm<sup>2</sup> 以上。与对照相比,棉花产量以有机肥、有机肥菌肥混施、磷石膏处理的增产最为明显,分别增产 10.7%,11.9%和 9.3%,增产效果极显著。土生、土生药肥混施处理增产作用不显

著。对棉花株高和产量的影响均极显著的是磷石膏处理。

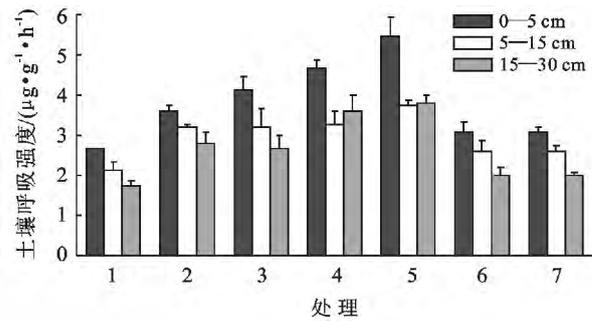


图 2 不同改良剂对滨海盐碱地土壤呼吸强度的影响

表 7 不同改良剂对滨海盐碱地棉花株高及产量的影响

目	对照	磷石膏	禾康	有机肥	有机肥菌肥混施	土生	土生药肥混施
株高/cm	80.0 <sup>d</sup>	90.5 <sup>a</sup>	90.2 <sup>a</sup>	81.3 <sup>cd</sup>	84.4 <sup>bcd</sup>	86.6 <sup>abc</sup>	88.5 <sup>ab</sup>
产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )	1 181.8 <sup>c</sup>	1 292.4 <sup>abc</sup>	1 251.4 <sup>bcd</sup>	1 308.7 <sup>ab</sup>	1 322.4 <sup>a</sup>	1 210.3 <sup>de</sup>	1 230.7 <sup>cde</sup>

### 3 结论

(1) 各种改良剂均能显著降低重盐碱地土壤容重,增强土壤通透性;有机肥菌肥混施和有机肥处理使土壤速效养分和肥力状况得到显著改变。各种改良剂处理均能降低盐碱土的 pH 值和电导率;所有改良剂均能增加重盐碱地土壤的微生物量,增强土壤呼吸,效果最好的是有机肥和有机肥菌肥混施处理。细菌占到重盐碱地土壤微生物的大多数,真菌最少;随着土层深度的增加 3 种菌的数量均减少;有机肥和有机肥菌肥混施处理能显著提高盐碱荒地的土壤肥力,对棉花产量的影响也最大。对棉花株高影响最大的是磷石膏和禾康。

(2) 几种改良剂对黄河三角洲重盐碱棉田脱盐效果较好,均能有效改善盐碱土壤化学性质的改良剂是磷石膏和禾康;能较好地改善盐碱地土壤肥力,提高棉花产量的改良剂是有机肥及有机肥菌肥混施处理。磷石膏、禾康、有机肥及有机肥菌肥混施处理均能明显改良盐碱土物理、化学、生物学性质。随着土层深度的增加,各种改良剂的改良效应均减弱。

#### [ 参 考 文 献 ]

[1] 施建国,杨才林,王法明,等. 土壤调节剂“盐碱丰”的推广应用[J]. 石河子科技,2003(2):11-13.  
 [2] “禾康”盐碱土壤改良剂. 中国农业网[EB/OL],[2004-2-10](2014-05-05). <http://www.biochar-china.com/detail.aspx?artid=90>.  
 [3] 石国元,郭良,刘忠军,等.“康地宝”脱盐剂改良重盐碱

地试验初报[J]. 新疆农垦科技,2006(6):48-49.

- [4] 张昀,李强. 施地佳盐碱土壤改良剂在棉花上的应用效果试验[J]. 农村科技,2011(1):19-20.  
 [5] 宋家清,郑秀社,张庆国,等. 活性微生物菌肥对滨海盐碱土改良的影响[J]. 北方园艺,2010(18):53-55.  
 [6] 王永清. 碱化土壤上磷石膏的施用效果[J]. 土壤通报,1999,30(2):51-52.  
 [7] 唐治学,苗友顺,李传文. 柠檬酸渣改良盐碱地的效果[J]. 中国棉花,1986(5):16.  
 [8] 李焕珍,徐玉佩,杨伟奇,等. 脱硫石膏改良强度苏打盐渍土效果的研究[J]. 生态学杂志,1999,18(1):25-29.  
 [9] 蔡阿兴,常运诚. 沼气肥改良碱土及其增产效果研究[J]. 土壤通报,1999,30(1):4-6.  
 [10] 毛文娟,李新平,安东,等. 不同改良剂对宁夏地区盐碱土土壤结构的影响[J]. 水土保持通报,2010,30(4):190-192.  
 [11] 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.  
 [12] 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.  
 [13] 吕贻忠,李保国. 土壤学试验[M]. 北京:中国农业出版社,2010.  
 [14] 严昶升. 土壤肥力研究方法[M]. 北京:农业出版社,1988:16-286.  
 [15] 李酉开. 土壤农化常规分析法[M]. 北京:科学出版社,1984:67-99.  
 [16] 程丽娟,薛泉宏. 微生物学试验技术[M]. 陕西西安:世界图书出版公司,2000:80-83,104-105.