

刘清泉,原海燕,张永侠,等. 不同土壤改良措施对高盐土壤条件下马蔺幼苗生长和抗氧化酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(6):100-105. doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.06.022

# 不同土壤改良措施对高盐土壤条件下马蔺幼苗生长和抗氧化酶活性的影响

刘清泉<sup>1</sup>, 原海燕<sup>1</sup>, 张永侠<sup>1</sup>, 缪森<sup>1</sup>, 唐君<sup>2</sup>, 黄苏珍<sup>1</sup>

(1. 江苏省中国科学院植物研究所, 江苏南京 210014; 2. 江苏省农业科学院, 江苏南京 210014)

**摘要:**采用盆栽方式分析土壤改良措施对高盐土壤条件下马蔺幼苗生长及抗氧化酶活性的影响。试验共设计6组改良措施,即分别向滩涂高盐土中添加不同量(1/12、1/6、1/4)园土和草炭。结果显示,在不同含盐量土壤上生长30 d后,与园土对照相比,在0.50%盐土条件下,马蔺幼苗存活率和根系鲜质量均无明显变化,在0.75%和1.00%盐土条件下马蔺根系生长显著受到抑制,植株存活率显著下降,地上部和根系鲜质量均显著减少。在1%盐土中添加1/6园土能显著提高马蔺幼苗地上部鲜质量及根系CAT活性,添加1/12园土能显著提高地上部POD活性,但对可溶性蛋白含量没有显著影响;添加草炭能明显提高马蔺幼苗的存活率、地上部鲜质量和可溶性蛋白含量,但对POD和CAT活性没有显著影响。由结果可知,在1%高盐土中,添加1/6园土能显著促进马蔺地上部生长,提高抗氧化酶活性;添加1/12草炭可有效促进马蔺幼苗地上部和根系的生长。

**关键词:**盐土;马蔺;土壤改良;幼苗生长;抗氧化酶

**中图分类号:** S682.1+90.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)06-0100-06

土壤盐碱化已成为全球性的生态环境问题之一,盐胁迫是影响全球作物产量的主要非生物胁迫之一,严重制约着农业的可持续发展<sup>[1-2]</sup>。据统计,全世界盐渍化土地约为9.5亿hm<sup>2</sup>,占全球陆地面积的10%,土壤次生盐渍化面积也在不断增加<sup>[3-4]</sup>。据全国第二次土壤普查资料统计,我国盐渍土面积约为9 913万hm<sup>2</sup>,主要分布于西北、华北、东北及沿海地区,从热带到寒温带、滨海到内陆、湿润地区到极端干旱的荒漠地区<sup>[5-6]</sup>。盐碱地是我国重要的农业储备资源,其治理和利用对解决我国耕地紧缺、保障国家粮食安全与农产品有效供给具有重要的意义。因此,盐碱地高效、快速的修复与改良

成为亟待解决的重大课题。目前,盐碱地的修复改良主要有物理、化学、生物、工程改良等4种方法<sup>[7]</sup>。利用耐盐植物对盐碱地进行修复改良是目前最有效且绿色无污染的方法之一,植物的大量种植对盐碱地土壤水盐平衡、盐分聚集及耗水量都具有一定的影响,植物种植面积越大,盐碱地土壤水分蒸发速率越高,可溶性盐分就越低,进而改善盐碱土壤的质量<sup>[7]</sup>。

盐碱地中过高浓度的盐离子会抑制植物正常的生长发育和生理代谢,对植物造成不同程度的伤害,例如细胞膜结构损伤、活性氧代谢失调、光合效率下降等;严重时,植物会出现盐斑、萎蔫等症状,甚至死亡<sup>[8-9]</sup>。这样,植物修复盐碱地的效率必然会受到不同程度的影响。因此,提高植物修复盐碱地的效率势在必行,通过土壤改良及外源物的添加等技术适当调控植物的生长发育,将有利于耐盐植物更好、更快地进行盐碱地的修复改良。农艺措施可显著提高植物修复盐碱土的能力,例如通过合理的耕作,及时进行松土,可减少土壤水分的蒸发,改善土壤的通气性,防止土壤板结,抑制再返盐<sup>[10]</sup>。铺沙可以有效增加土壤含水量,降低土壤电导率,起到脱盐和压

收稿日期:2017-10-26

基金项目:国家自然科学基金(编号:31501796,31572196);江苏省自然科学基金(编号:BK20150550);国家海洋公益性行业科研专项(编号:201505023-4)。

作者简介:刘清泉(1988—),男,河南平舆人,博士,助理研究员,主要从事植物抗逆生物学研究。E-mail:liuqingquan@cnbg.net。

通信作者:黄苏珍,博士,研究员,主要从事观赏植物种质资源抗逆性评价研究。E-mail:hsz1959@163.com。

[24] 韩多红,李善家,王恩军,等. 外源钙对盐胁迫下黑果枸杞种子萌发和幼苗生理特性的影响[J]. 中国中药杂志,2014,39(1):34-39.

[25] 王恩军,李善家,韩多红,等. 中性盐和碱性盐胁迫对黑果枸杞种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 干旱地区农业研究,2014(6):64-69.

[26] 申忠宝,潘多锋,王建丽,等. 混合盐碱胁迫对5种禾草种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 草地学报,2012,20(5):914-920.

[27] 卢素锦,周青平,颜红波. Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>胁迫对同德小花碱茅幼苗生长的影响[J]. 草原与草坪,2009(3):16-19.

[28] 杨科,张保军,胡银岗,等. 混合盐碱胁迫对燕麦种子萌发及

幼苗生理生化特性的影响[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(3):188-192.

[29] 苏实,练薇薇,杨文杰,等. 盐胁迫对番茄种子萌发和幼苗生长的效应[J]. 华北农学报,2006,21(5):24-27.

[30] 韩多红,晋玲,张勇. NaCl胁迫对膜荚黄芪种子萌发和幼苗生理特性的影响[J]. 中草药,2012,43(10):2045-2049.

[31] 宋雪梅,杨九艳,吕美婷,等. 红砂种子萌发对盐胁迫及适度干旱的响应[J]. 中国沙漠,2012,32(6):1674-1680.

[32] 陈海魁,赵文红. 不同浓度NaCl胁迫对黑果枸杞种子萌发的影响[J]. 农业科学与技术,2010,11(4):37-38.

碱的作用<sup>[11]</sup>;施加园土和草炭可以增加盐碱地土壤速效养分的含量,降低土壤 pH 值,改善植物营养供给状况,增加作物的产量<sup>[12]</sup>。

马蔺是鸢尾科鸢尾属多年生草本宿根盐生花卉,观赏和药用价值高,抗逆性强,耐盐碱,是用于盐碱地改良的理想材料之一,然而过高的盐浓度在一定程度上也会抑制马蔺的生长和代谢过程,影响其对盐碱地的修复效率<sup>[13]</sup>。因此,提高马蔺幼苗在高盐土壤上的生长势是提高马蔺改良盐碱地效率的关键,适当的土壤改良措施是解决这一瓶颈的有效手段。本研究通过分析不同土壤改良措施对高盐土壤上马蔺幼苗生长和抗氧化酶活性的影响,筛选出合适的土壤改良方法,为提高马蔺修复改良盐碱地的效率提供一定的理论基础和实践参考。

## 1 材料与与方法

### 1.1 材料

表1 供试土壤基本理化性质

土壤类别	pH 值	可溶性盐含量 (%)	有机质含量 (%)	总氮含量 (%)	有效磷含量 (mg/kg)	有效钾含量 (mg/kg)
园土	7.17 ± 0.02	0.15 ± 0.02	2.85 ± 0.08	0.11 ± 0.00	39.03 ± 0.47	174.43 ± 0.67
盐土	7.21 ± 0.05	0.51 ± 0.02	0.88 ± 0.06	0.04 ± 0.00	8.04 ± 0.32	425.34 ± 7.23

土壤改良试验中供试高盐土为 1% 盐土(配制方法同上),分别将园土和草炭烘干、粉碎过筛后掺入 1% 盐土中,园土和草炭掺入量均占盆装总量(0.4 kg)的 1/12、1/6、1/4,混匀后装于盆钵内。马蔺播种和幼苗移栽方法同上,移栽后,将其置于玻璃温室中培养。18 d 后进行收样,并记录植株存活率、地上部鲜质量及根系鲜质量,同时称取一定量地上部和根系样品,用液氮速冻后存至超低温冰箱中,用于测定相关生理指标。

### 1.3 测定方法

1.3.1 土壤理化性质的测定 土壤 pH 值采用电位法测定,土壤可溶性盐分含量采用称质量法测定,有机质含量采用重铬酸钾容量法测定,全氮含量采用凯氏定氮法测定,速效磷含量采用钼锑抗比色法测定,速效钾含量采用火焰光度法测定,具体操作步骤参考《土壤农化分析》(3 版)<sup>[14]</sup>。

1.3.2 生长相关指标的测定 根据马蔺幼苗的生长情况,统计植株的存活率(%);处理结束后,将马蔺幼苗从土壤中分离出来,用去离子水洗净后,测定鲜质量。

1.3.3 可溶性蛋白和酶活性分析 粗酶液提取:取 0.2 g 样品,加入 2 mL 0.05 mol/L 磷酸缓冲液 PBS[pH 值 7.0,含 1 mmol/L 乙二胺四乙酸(EDTA)、1% 聚乙烯吡咯烷酮(PVP)],冰浴研磨成匀浆后移至离心管中,4 °C 冷冻离心(12 000 r/min)20 min,上清液即为粗酶液(以上操作均在冰上进行)。

可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮蓝法;过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法,测定反应体系中 POD 催化愈创木酚过氧化的能力,以 1 min 内 470 nm 吸光度的变化值表示酶活性的大小<sup>[15]</sup>;过氧化氢酶(CAT)活性测定采用紫外吸收法,测定反应体系中 CAT 催化 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 分解的能力,以 1 min 内 240 nm 吸光度的变化值表示酶活性的大小<sup>[16]</sup>。

### 1.4 数据处理

用 SPSS 17.0 软件对数据进行方差及显著性分析,并利

用 Origin 软件进行图表的绘制。

### 1.2 试验设计

本试验于 2016 年 5—7 月在江苏省中国科学院植物研究所玻璃温室中进行,供试园土和盐土分别取自江苏省中国科学院植物研究所和江苏省连云港市新沂河入海口滩涂盐渍地,其理化指标见表 1。通过向 0.50% 滩涂盐土中添加不同量 NaCl,调节成含盐量分别为 0.75%、1.00% 的盐土,以园土为对照,共 4 种土壤,分别将其烘干、粉碎过筛后装于盆钵内,每盆装土 0.4 kg。马蔺种子经次氯酸钠消毒、自来水冲洗干净后,泡于水中进行浸种,待种子露白后,播于干净的河沙中催芽,待马蔺幼苗长至 3 叶期时,选取株高、大小一致的幼苗,将其移栽至盆钵内的土壤中,每盆种植 5 株马蔺幼苗,每种土壤设 3 个重复。浇足淡水后,置于玻璃温室中培养。30 d 后观察并记录马蔺幼苗存活的情况。

用 Origin 软件进行图表的绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同土壤盐浓度对马蔺植株存活率和鲜质量的影响

如表 2 所示,在园土和 0.50% 盐土条件下生长 30 d 后,马蔺幼苗存活率均为 100%;在 0.75% 盐土条件下生长 30 d 后,植株存活率约为 60%;而在 1.00% 高盐土条件下生长 30 d 后,所有植株均已死亡。以上结果说明,马蔺在较高浓度盐渍化土壤中具有较强的生长能力,而在重度盐渍化土壤中生长受到显著抑制。

表2 不同土壤条件对马蔺幼苗存活率的影响

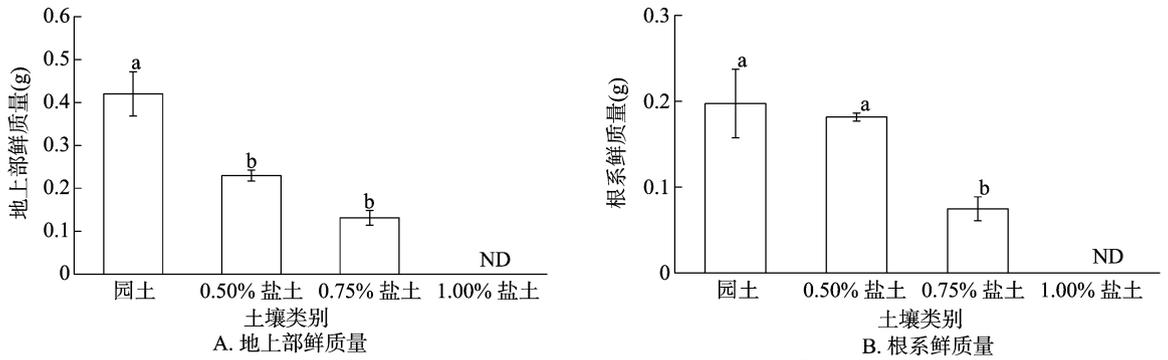
土壤类别	种植数(株)	存活数(株)	存活率(%)
园土	5.00 ± 0.00a	5.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a
0.50% 盐土	5.00 ± 0.00a	5.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a
0.75% 盐土	5.00 ± 0.00a	3.00 ± 0.58b	60.00 ± 11.60b
1.00% 盐土	5.00 ± 0.00a	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00c

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下表同。

由图 1-A 可以看出,在 0.50% 和 0.75% 盐土条件下生长 30 d 后,马蔺地上部鲜质量分别仅为园土条件下的 54.7% 和 31.3%,说明在 0.50% 和 0.75% 盐土条件下马蔺地上部的生长显著受到抑制。由图 1-B 可以看出,与园土条件相比,在 0.50%、0.75% 盐土条件下,马蔺根系鲜质量分别为园土处理的 92.0%、38.9%,表明含盐量达到 0.75% 时,马蔺根系生长才显著受到盐胁迫的抑制。这一结果表明,马蔺地上部和根系物质的积累均受到土壤中盐分的抑制,随着盐土含盐量的升高,抑制程度越大,且地上部受抑制程度大于根系。

### 2.2 不同土壤改良措施对高盐土壤条件下马蔺植株存活率和鲜质量的影响

如表 3 所示,在不同土壤上生长 18 d 后,添加园土处理组马蔺存活率与对照组的相比有所提高,但差异并不显著;添



ND 表示无存活幼苗, 未检测。不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。下图同

表3 高盐土壤中添加不同量园土和草炭对马蔺幼苗存活率的影响

土壤类别	种植数(株)	存活数(株)	存活率(%)
1% 盐土	5.00 ± 0.00a	2.33 ± 0.88b	46.67 ± 17.64b
1% 盐土 + 1/12 园土	5.00 ± 0.00a	3.33 ± 0.67ab	66.67 ± 13.33ab
1% 盐土 + 1/6 园土	5.00 ± 0.00a	3.67 ± 0.67ab	73.33 ± 13.33ab
1% 盐土 + 1/4 园土	5.00 ± 0.00a	3.33 ± 0.67ab	66.67 ± 13.33ab
1% 盐土 + 1/12 草炭	5.00 ± 0.00a	4.67 ± 0.33a	93.33 ± 6.67a
1% 盐土 + 1/6 草炭	5.00 ± 0.00a	4.33 ± 0.33a	86.67 ± 6.67a
1% 盐土 + 1/4 草炭	5.00 ± 0.00a	3.67 ± 0.33ab	73.33 ± 6.67ab

加草炭处理组马蔺的存活率均高于对照组, 其中添加 1/12 和 1/6 草炭处理组马蔺存活率与对照组差异最明显, 分别为对照的 2 和 1.86 倍。以上结果说明, 添加草炭能明显提高马蔺在高盐土壤中的存活率。

由图 2 - A 可以看出, 添加 1/12、1/6 和 1/4 园土处理组马蔺地上部鲜质量分别为对照组的 1.38、1.72 和 1.48 倍, 其

中, 添加 1/6 园土处理组马蔺地上部鲜质量与对照组的差异达到显著水平; 由图 2 - C 可以看出, 添加 1/12、1/6 和 1/4 园土处理组马蔺根系鲜质量分别为对照组的 3.78、6.96 和 1.48 倍, 但处理组与对照组之间的差异并不显著。结果表明, 施加园土能有效提高高盐土壤条件下马蔺幼苗地上部的生物量。

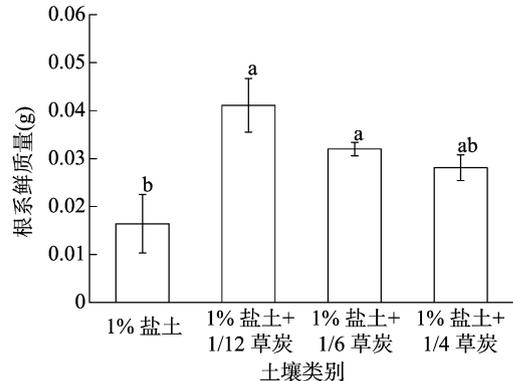
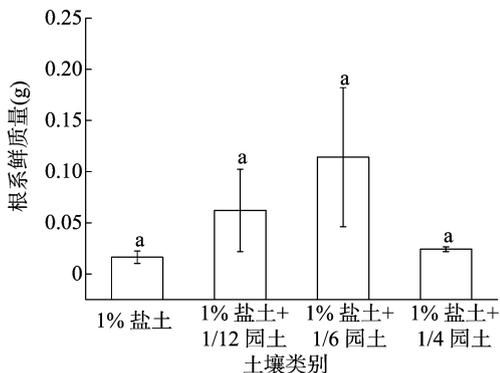
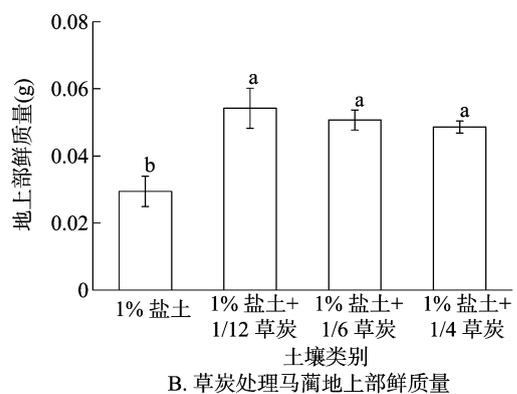
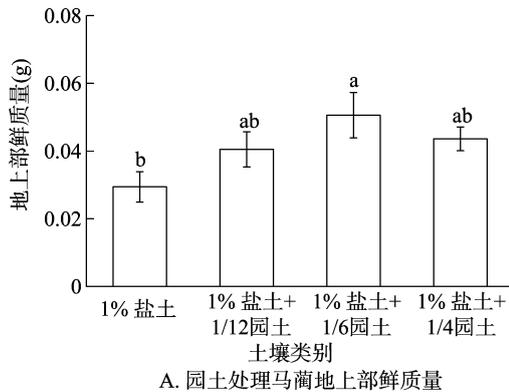


图2 高盐土壤中添加不同量园土和草炭对马蔺地上部和根系鲜质量的影响

由图2-B可以看出,添加1/12、1/6和1/4草炭处理组马蔺地上部鲜质量分别为对照组的1.84、1.72和1.65倍,添加草炭处理组马蔺地上部鲜质量与对照组的差异均达到显著水平;由图2-D可以看出,添加1/12、1/6和1/4草炭处理组马蔺根系鲜质量分别为对照组的2.51、1.95和1.71倍,但1/4草炭处理组与对照组之间差异并不显著。结果表明,施加草炭能有效增加高盐土壤条件下马蔺幼苗的生物量,特别是地上部的鲜质量。

### 2.3 不同土壤改良措施对高盐土壤条件下马蔺可溶性蛋白含量的影响

由图3-A和图3-C可以看出,添加1/12、1/6和1/4园

土处理组马蔺地上部和根系可溶性蛋白含量与对照组相比,均未发生显著性变化,表明施加田园土对高盐土壤条件下马蔺幼苗可溶性蛋白含量没有明显的影响。

由图3-B可以看出,添加1/12、1/6和1/4草炭处理组马蔺地上部可溶性蛋白含量与对照组相比,均显著增加,其中,添加1/12草炭处理组马蔺地上部鲜质量与对照组的差异最大;由图3-D可以看出,添加1/12、1/6和1/4草炭处理组马蔺根系可溶性蛋白含量与对照组相比,均没有显著性的变化。结果表明,施加草炭能够增加高盐土壤条件下马蔺幼苗地上部可溶性蛋白含量。

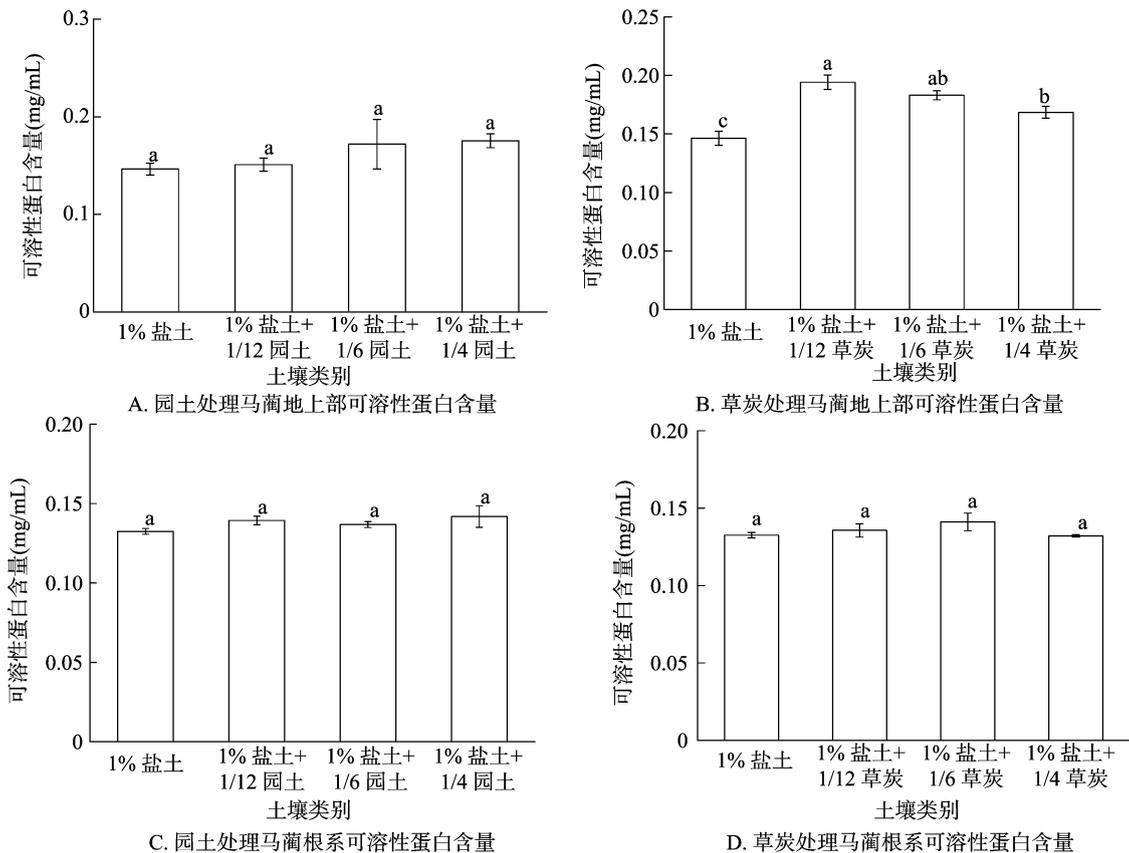


图3 高盐土壤中添加不同量园土和草炭对马蔺地上部和根系可溶性蛋白含量的影响

### 2.4 不同土壤改良措施对高盐土壤条件下马蔺 POD 活性的影响

由图4-A可以看出,添加1/12和1/6园土处理组与对照组相比,马蔺地上部POD活性有所升高,其中添加1/12园土处理组地上部POD活性升高最为明显,为对照的2.74倍,而添加1/4园土处理组地上部POD活性没有明显改变。由图4-C可以看出,添加1/12、1/6和1/4园土处理组马蔺根系POD活性与对照相比有所升高,但差异均不显著。结果表明,施加田园土能显著提高高盐土壤条件下马蔺幼苗地上部POD活性。

添加不同量的草炭对高盐土壤条件下马蔺幼苗地上部和根系POD活性的影响见图4-B和图4-D。结果显示,添加1/12、1/6和1/4草炭处理组马蔺地上部和根系POD活性与对照组相比,均没有显著性的变化。结果表明,施加草炭对高

盐土壤条件下马蔺幼苗POD活性没有明显的影响。

### 2.5 不同土壤改良措施对高盐土壤条件下马蔺CAT活性的影响

由图5-A可见,添加1/12、1/6和1/4园土处理组与对照组相比,马蔺地上部CAT活性没有发生明显变化;由图5-C可见,添加1/12、1/6和1/4园土处理组马蔺根系CAT活性与对照相比均有所升高,其中添加1/6园土处理组升高最为明显,为对照的3.88倍。结果表明,施加田园土能显著提高高盐土壤条件下马蔺幼苗根系CAT活性。

由图5-B和图5-D可以看出,添加1/12、1/6和1/4草炭处理组马蔺地上部和根系CAT活性与对照组相比,均没有明显的变化。结果表明,施加草炭对高盐土壤条件下马蔺幼苗CAT活性没有显著影响。

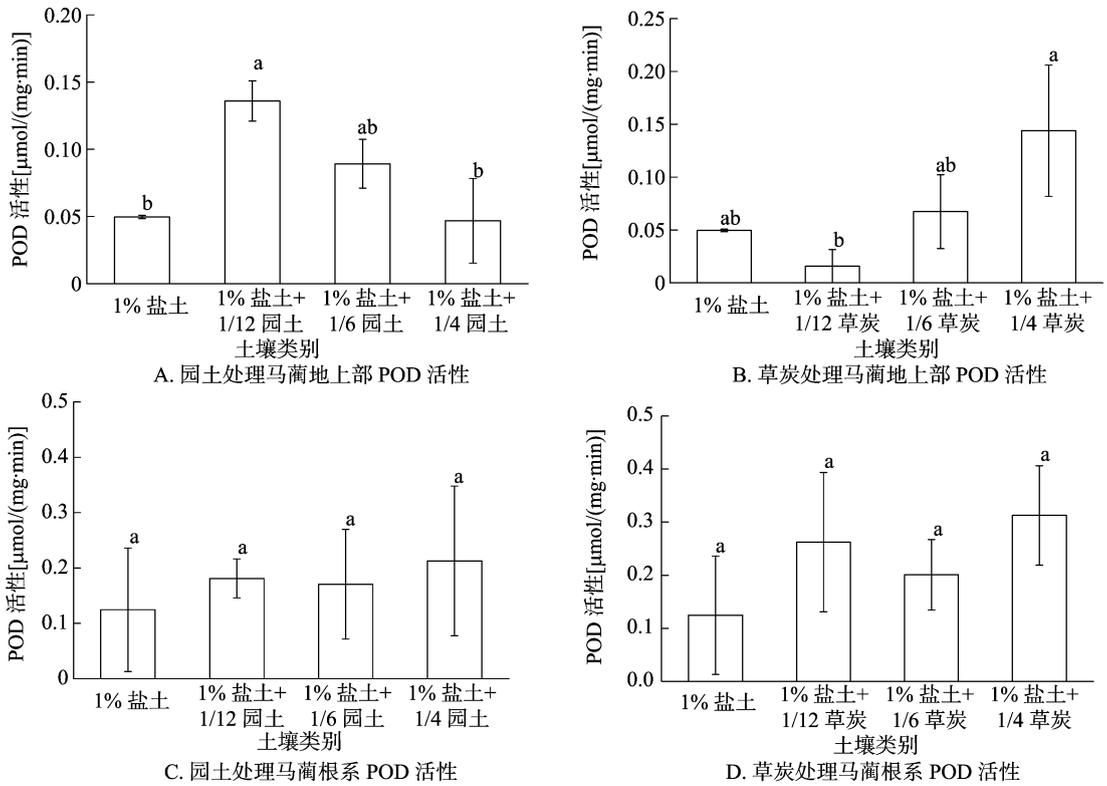


图4 高盐土壤中添加不同量园土和草炭对马蔺地上部和根系 POD 活性的影响

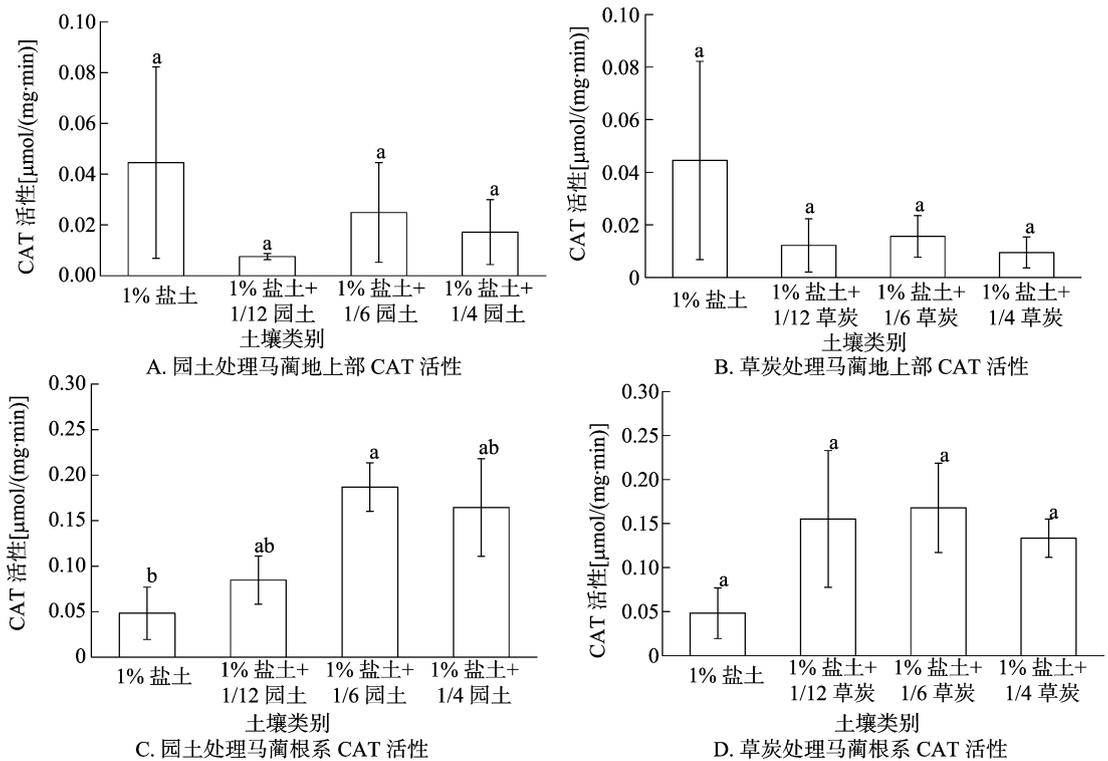


图5 高盐土壤中添加不同量园土和草炭对马蔺地上部和根系 CAT 活性的影响

### 3 讨论

土壤盐渍化可导致耕地面积减少,作物生产力下降,是限制粮食生产最主要的环境因素之一<sup>[17]</sup>。目前,盐渍化土地面

积每年以 10% 的速度增长,估计到 2050 年,超过 50% 的耕地将被盐化<sup>[18]</sup>。因此,急需合适的策略来缓解土壤盐碱化所带来的影响。植物修复技术,如在盐碱地上种植耐盐植物,因其绿色、无二次污染和成本低等特点具有非常好的优势<sup>[19]</sup>。本

研究中的试验材料马蔺是一种抗逆性强,且具有高观赏价值的盐生花卉,在盐渍地改良中具有广阔的应用前景<sup>[20]</sup>。

土壤中过高浓度的盐分会影响植物的生长发育过程,包括种子萌发、营养生长和生殖生长阶段<sup>[21-24]</sup>。本研究表明,在0.50%盐土上,马蔺幼苗能正常地生长,而在0.75%和1.00%盐土上,马蔺幼苗的生长均受到不同程度的抑制。适当的土壤改良措施,可以改善土壤理化性质,促进植物在盐渍土上更好地生长,有助于提高植物对盐土的修复改良效率<sup>[25-26]</sup>,如添加园土和草炭可以有效改善盐碱地土壤理化性质,降低含盐量。有研究发现,添加腐殖酸类物质能够促进星星草养分的吸收,有助于其生长,并显著增加其产量,提高抗逆性<sup>[26]</sup>。POD和CAT是植物中广泛存在的抗氧化酶,能将H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>催化成H<sub>2</sub>O,从而减少胁迫产生的活性氧在植物体内的积累<sup>[16]</sup>。本研究表明,在1%盐土上,添加1/6园土能有效缓解高盐对马蔺幼苗地上部生长的抑制作用,提高根系CAT活性;添加1/12园土能增强马蔺地上部POD活性。有研究表明,在轻、中度盐碱土壤中施加土壤改良剂(康地宝)能显著提高棉花幼苗的叶片POD和CAT活性,增加可溶性糖含量<sup>[27]</sup>。

草炭是沼泽发育过程中的产物,含有大量的有机质,质地松散,通透性强,偏酸性,非常适宜用于滩涂盐土改良。添加适量的草炭能提高盐碱土上水稻秧苗的素质<sup>[28]</sup>。草炭添加量对不同盐度盐碱土上水稻秧苗生长的影响也有所不同,在轻、中度盐碱土添加10%草炭土能促进秧苗的生长,而在重度盐碱土中添加20%草炭土有利于秧苗的生长<sup>[29]</sup>。本研究发现,添加1/12草炭能明显提高马蔺幼苗在1%盐土中的存活率、地上部鲜质量和可溶性蛋白含量。另有研究表明,添加4%草炭能有效改善盐渍土的养分供应状况,增加作物产量<sup>[12]</sup>。综上所述,添加园土和草炭均能有效缓解高盐土条件对马蔺幼苗生长的抑制作用,其中添加1/6园土和1/12草炭的效果最好,可以有效改善马蔺在高盐土壤上的生长状况,也将有助于提高马蔺修复改良盐碱地的效率。

#### 参考文献:

[1] Hasegawa P M, Bressan R A, Zhu J K, et al. Plant cellular and molecular responses to high salinity [J]. *Annual Review of Plant Biology*, 2000, 51: 463-499.

[2] 马晨, 马履一, 刘太祥, 等. 盐碱地改良利用技术研究进展 [J]. *世界林业研究*, 2010, 23(2): 28-32.

[3] Zhang J F, Zhang X D, Zhou J X, et al. World resources of saline soil and main amelioration measures [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2005, 12(6): 32-34.

[4] 谷俊, 耿贵, 李冬雪, 等. 盐胁迫对植物各营养器官形态结构影响的研究进展 [J]. *中国农学通报*, 2017, 33(24): 62-67.

[5] 刘润华, 冯文龙. 铁锰矿复合改良剂改良盐碱地技术获得成功 [J]. *黄金*, 2016, 37(2): 55.

[6] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望 [J]. *土壤学报*, 2008, 45(5): 837-845.

[7] 张翼夫, 李问盈, 胡红, 等. 盐碱地改良研究现状及展望 [J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(18): 7-10.

[8] Blumwald E, Aharon G S, Apse M P. Sodium transport in plant cells [J]. *Biochimica et Biophysica Acta - Biomembranes*, 2000, 1465

(1/2): 140-151.

[9] Parida A K, Das A B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2005, 60(3): 324-349.

[10] 徐鹏程, 冷翔鹏, 刘更森, 等. 盐碱土改良利用研究进展 [J]. *江苏农业科学*, 2014, 42(5): 293-298.

[11] 温祝桂, 朱小梅, 陈亚华, 等. 国内盐碱土改良技术及其对土壤微生物群落影响研究进展 [J]. *陕西农业科学*, 2016, 62(5): 68-71.

[12] 宋轩, 杜丽平, 张成才. 有机物料改良盐碱土的效果研究 [J]. *河南农业科学*, 2004, 33(8): 57-60.

[13] 原海燕, 张永侠, 马晶晶, 等. NaCl 胁迫对喜盐鸢尾和马蔺部分生理代谢的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(11): 212-215.

[14] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 12-21.

[15] Liu Q Q, Zheng L, He F, et al. Transcriptional and physiological analyses identify a regulatory role for hydrogen peroxide in the lignin biosynthesis of copper-stressed rice roots [J]. *Plant and Soil*, 2015, 387(1/2): 323-336.

[16] Rui H Y, Chen C, Zhang X X, et al. Cd-induced oxidative stress and lignification in the roots of two *Vicia sativa* L. varieties with different Cd tolerances [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2016, 301(15): 304-313.

[17] Shahbaz M, Ashraf M. Improving salinity tolerance in cereals [J]. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2013, 32(4): 237-249.

[18] Jamil A, Riaz S, Ashraf M, et al. Gene expression profiling of plants under salt stress [J]. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2011, 30(5): 435-458.

[19] 王善仙, 刘宛, 李培军, 等. 盐碱土植物改良研究进展 [J]. *中国农学通报*, 2011, 27(24): 1-7.

[20] 王亚娟. 护坡植物马蔺的生物学特性及应用前景 [J]. *水土保持科技情报*, 2005(4): 29-31.

[21] Ashraf M, Mcneilly T. Salinity tolerance in *Brassica oilseeds* [J]. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2004, 23(2): 157-174.

[22] Akbarimoghaddam H, Galavi M, Ghanbari A, et al. Salinity effects on seed germination and seedling growth of bread wheat cultivars [J]. *Trakia Journal of Sciences*, 2011, 9: 43-50.

[23] 刘金龙, 辛寒晓, 范学明, 等. 盐胁迫下鱼蛋白多肽对樱桃番茄种子发芽特性的影响 [J]. *江苏农业学报*, 2017, 33(3): 662-666.

[24] 赵霞, 叶林, 纳学伟, 等. 盐碱胁迫下丛枝菌根真菌对紫花苜蓿渗透调节物质及抗氧化能力的影响 [J]. *江苏农业学报*, 2017, 33(4): 782-787.

[25] 何瑞成, 吴景贵, 李建明. 不同有机物料对原生盐碱地水稳性团聚体特征的影响 [J]. *水土保持学报*, 2017(3): 310-316.

[26] 马献发, 李世龙, 于志民, 等. 腐植酸类物质对大庆盐碱土地区草场改良效果的研究 [J]. *腐植酸*, 2004(3): 26-29.

[27] 程玲, 邱永福, 李显榕, 等. 土壤改良剂对盐胁迫下棉花生长及与耐盐有关的几个生理生化指标的影响 [J]. *东北农业大学学报*, 2010, 41(11): 22-27.

[28] 赵凤亮, 郑桂萍, 曾宪国, 等. 不同盘土及草炭配比对水稻秧苗素质的影响 [J]. *黑龙江八一农垦大学学报*, 2007, 19(6): 30-33.

[29] 辛树权, 王贵, 高扬, 等. 植物促生菌 CS2、CC9 和草炭土添加量对盐碱土育秧的作用效果 [J]. *广东农业科学*, 2011, 38(7): 82-85.