

# 滨海盐碱地不同改良年限土壤理化性质的变化特征

张小栋<sup>1,2,3</sup>, 刘绍雄<sup>4</sup>, 孙宇<sup>2,3</sup>, 胡爱双<sup>2,3</sup>, 李凯超<sup>2</sup>, 陈亚恒<sup>1</sup>

(1.河北农业大学, 资源与环境科学学院, 河北 保定 071001; 2.河北省农林科学院滨海农业研究所, 河北 唐山 063200;  
3.河北省盐碱地绿化技术创新中心, 河北 唐山 063200; 4.河北农业大学, 国土资源学院, 河北 保定 071001)

**摘要:**为了研究滨海盐碱地改良效果的可持续年限,选择利用“原土直栽绿化综合改良模式”改良的滨海盐碱地为研究对象,采用空间代替时间的方法,通过对不同改良年限滨海盐碱地的土壤容重、总孔隙度、机械组成、全盐含量、有机质、碱解氮和速效磷的分析,研究了滨海盐碱地不同改良年限土壤理化性质的变化特征。结果表明:盐碱地改良后,对土壤物理性质的改良效果随土层深度的增加逐渐减弱,随改良年限的增加,土壤质地无明显变化,0—20 cm 土层土壤容重降低,总孔隙度升高,20—40 cm 和 40—60 cm 土层土壤容重先降低后升高,总孔隙度先升高后降低;3 个土层化学性质变化趋势基本一致,随着改良年限的增加,土壤全盐含量先降低后升高,有机质、碱解氮和速效磷含量先升高后降低。总体来说,原土改良模式对滨海盐碱地土壤的改良效果在 5 年达到最优,11 年时土壤的物理化学性质基本上都比未改良的盐碱地好。

**关键词:**盐碱地改良;原土直栽;不同年限;理化性质

中图分类号:S156.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)01-0113-06

## Variation Characteristics of Soil Physicochemical Properties of Coastal Saline-alkali Lands with Different Improvement Years

ZHANG Xiaodong<sup>1,2,3</sup>, LIU Shaoxiong<sup>4</sup>, SUN Yu<sup>2,3</sup>, HU Aishuang<sup>2,3</sup>, LI Kaichao<sup>2</sup>, CHEN Yaheng<sup>1</sup>

(1.College of Resources and Environmental Science, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071001, China; 2.Institute of Coastal Agriculture, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Tangshan, Hebei 063200, China; 3.Saline and Alkali Land Greening Technology Innovation Center of Hebei Province, Tangshan, Hebei 063200, China; 4.College of Land and Resources, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071001, China)

**Abstract:** In order to investigate the sustainable years of the comprehensive improvement effects of coastal saline-alkali land, we took the saline-alkali land which was improved in a comprehensive improvement mode and could be planted directly on the original soil as the research object and studied the changes of soil physicochemical properties in different ameliorating years by using space instead of time based on the analysis of soil bulk density, total porosity, mechanical composition, salinity and organic matter, alkali-hydro nitrogen and available phosphorus, of which coastal saline-alkali had been improved in a comprehensive way. The results showed that the improvement effects of this model on soil gradually weakened with the increase of soil depth. With the increase of the recovery years, soil texture did not change significantly, soil bulk density in 0—20 cm soil layer decreased, total porosity increased, while soil bulk densities in 20—40 cm soil layer and 40—60 cm soil layer decreased first and then increased, and total porosities first increased and then decreased. The change trend of the chemical properties of the three soil layers was basically the same. With the increase of the recovery years, soil salinity first decreased and then increased, and the contents of organic matter, alkali-hydro nitrogen and available phosphorus first increased and then decreased. In general, the comprehensive improvement model for the original soil in the coastal saline-alkali land reached the optimal

收稿日期:2021-02-09

修回日期:2021-02-26

资助项目:河北省农林科学院创新工程项目“滨海盐碱地资源监测及植被修复技术研究”(2019-1-6-2);唐山市科技计划项目“沿海湿地植物多样性调查及生态修复技术研究”(20150211C)

第一作者:张小栋(1992—),男,河北唐山人,硕士研究生,主要从事于盐碱地改良与生态修复研究。E-mail:18031310356@163.com

通信作者:陈亚恒(1973—),男,河北保定人,教授,硕士生导师,从事土壤和土地资源可持续利用研究。E-mail:chenyaheng@126.com

level after 5-year improvement. The physicochemical properties of the soil were basically better than those of the unimproved saline-alkali land in the eleventh year.

**Keywords:** saline soil reclamation; planting on the original soil; different years; physicochemical properties

中国盐渍土面积大,分布广,据2010年最新数据,全国盐渍土总面积约为3 333万 $\text{hm}^2$ ,主要分布在我国的西北、东北和沿海地区<sup>[1]</sup>。河北省的盐碱地面积约为60万 $\text{hm}^2$ ,其中滨海盐碱地分布在秦皇岛、唐山和沧州<sup>[2]</sup>。河北省地处京津冀经济圈,享有独特的地理位置和资源优势,但其沿海的经济发展却受到了盐碱地的极大制约,因此,改良盐碱地,提升其生态价值,变得尤为重要。目前,改良盐碱地的措施主要分为农艺工程措施、化学措施和生物措施,改良效果不尽相同<sup>[3-5]</sup>,而且一些改良措施并不能持久,单一的改良措施针对盐碱地某一方面性质进行改善,但单一措施都有一定的局限性,近年来,多技术结合,低成本,长效改良盐碱地逐渐成为共识<sup>[6]</sup>。同时,盐碱地改良还面临一个很重要的问题,随着时间的延长,改良措施失效,容易发生次生盐渍化<sup>[7]</sup>。为解决这一问题,国内学者对于单一措施改良盐碱地不同年限的土壤理化性质变化情况进行了一些研究,但缺乏对多种措施综合改良盐碱地后土壤理化性质的长期监测和研究。其中,邹璐等<sup>[8]</sup>施用磷石膏改良盐碱地,发现随着改良年限的增加,土壤电导率降低,速效养分和有机质含量上升。多人对长期覆膜滴灌改良盐碱地进行监测,发现长期覆膜滴灌能持久有效的降低作物根区的土壤全盐<sup>[9-10]</sup>,有人种植苜蓿、柳枝稷和水稻等改良盐碱地,随着改良年限的增加,均能有效的降低土壤容重和全盐,增加土壤养分<sup>[11-13]</sup>。

河北省滨海盐碱地主要是淤泥质盐碱地,特点是地下水位高、土壤全盐含量高、土质黏重和渗透性差,近年来,针对其特点,孙昌禹等<sup>[14]</sup>在多年研究和实践的基础上,在原土条件下,通过平整和深翻土地,施加玉米秸秆,半腐熟的牛粪和磷石膏,滴灌洗盐,暗管排盐,种植耐盐植物,集农艺工程、化学改良和生物改良多种措施于一体,形成了一套成本低,见效快的模式——滨海盐碱地原土直栽绿化综合改良模式,此模式在河北省滨海地区得以大范围推广。由于多措施综合改良盐碱地机理复杂,后续研究多是综合改良模式中某一措施的改进<sup>[2,15-16]</sup>,该模式综合改良盐碱地后土壤理化性质的长期变化规律还有待进一步深入研究。因此,本试验采用空间代替时间的方法,选择利用该模式改良后的滨海盐碱地,通过对不同改良年限的滨海盐碱地土壤取样调查,研究滨海盐碱地不同

改良年限土壤物理化学性质的变化特征和规律,为滨海盐碱地改良模式的改进提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

试验在曹妃甸国际生态城淤泥质海岸带生态修复示范区内进行,位于唐山市曹妃甸区生态城,即北纬 $39^{\circ}11'58.69''$ — $39^{\circ}12'30.66''$ ,东经 $118^{\circ}32'5.12''$ — $118^{\circ}33'36.92''$ 。试验区域地势低平,属于海积平原,海拔在4 m以下。试验区域属暖温带半湿润滨海大陆性季风气候,四季分明,多年平均气温 $11.4^{\circ}\text{C}$ ,多年平均降水量608.1 mm,夏季雨量多而集中,6—8月份降水量为465.0 mm,约占全年降水总量的75%,年均蒸发量1 743.0 mm,是年降水量的2.87倍。研究区为典型的滨海盐碱地,土壤类型为滨海盐土亚类,该区域土壤土质黏重,透气性差,含盐量高达2%~4%。

### 1.2 试验设计

在研究区内选取6个 $10\text{ m}\times 30\text{ m}$ 的地块,分别于2009年、2011年、2013年、2015年、2017年、2019年利用“滨海盐碱地原土直栽绿化综合改良模式”对其中一个地块进行改良,平整土地,对0—60 cm土层深翻,施用半腐熟牛粪 $225\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,玉米秸秆 $450\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 和磷石膏 $30\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,利用机械使半腐熟牛粪、秸秆和磷石膏在0—40 cm土层搅拌均匀,在深度60—80 cm处铺设排盐管,排盐管采用有孔波纹PVC管,排盐管间距3 m,排盐管一端引入地块旁边的明沟,明沟宽3 m,深1.5 m,地表铺设滴灌管,滴头间距0.3 m,滴灌管间距为0.5 m,滴头流量0.6 L/h,进行滴灌洗盐2次,每次滴灌时间10 h,地上种植芙蓉葵,芙蓉葵选用多年生的种苗进行分株,剪去须根,株行距 $50\text{ cm}\times 50\text{ cm}$ ,每穴1株,种植穴深20 cm,长、宽均为30 cm,挖好种植穴,扶苗入土,填土,踩实,栽后24 h内滴灌,3 d后滴灌,6 d后滴灌,每次滴灌时间10 h,在种植初期保证苗成活,芙蓉葵苗成活之后整个生育期无需滴灌,依靠自然降雨。入冬前将芙蓉葵干枯的地上部收割,就地覆盖,由于根可以越冬,后期无需再种植,在春季返盐期芙蓉葵根萌发前进行滴灌,滴灌10 h。每个地块只在第一年改良一次,后期管护,在杂草较多时,及时人工拔出,如果发

生虫害,及时喷洒高效低度杀虫剂。同时选取试验地块附近 200 m 自然状态下未经改良的盐碱荒地作为空白对照。

2020 年 4 月取样调查,于 2009 年、2011 年、2013 年、2015 年、2017 年、2019 年改良的试验地块的改良年限分别为 11 a, 9 a, 7 a, 5 a, 3 a 和 1 a, 在对照荒地 (0 a) 和不同改良年限的试验地块, 采用随机取样法在每个地块选取 3 个样点, 每个样点开挖土壤剖面, 按 0—20 cm, 20—40 cm 和 40—60 cm 土层分层采集环刀原状土, 放入铝盒密封, 编号, 共 63 份, 带回实验室, 测定土壤物理性质, 包括土壤容重, 总孔隙度和机械组成。同时, 在每个样点旁边, 用土钻分层采集 0—20 cm, 20—40 cm 和 40—60 cm 的土样, 一个样点一个土层装入一个取样袋, 编号, 共 63 份土样, 带回室内自然风干, 去杂, 研磨处理后, 进行土壤化学性质的测定, 包括全盐, 碱解氮, 速效磷和有机质含量。

### 1.3 测定指标及方法

土壤容重及总孔隙度: 环刀法<sup>[17]</sup>; 土壤机械组成: 激光衍射法<sup>[18]</sup>; 土壤全盐含量: 电导法 (水土比 5 : 1 浸提)<sup>[17]</sup>; 碱解氮: 碱解扩散法<sup>[17]</sup>; 速效磷: 0.5 mol/L  $\text{NaHCO}_3$  浸提—钼锑抗比色法<sup>[17]</sup>; 有机质: 重铬酸钾容量法—外加热法<sup>[17]</sup>。

### 1.4 数据处理

采用 SPSS 22.0 进行数据处理, 通过单因素方差分析和 Duncan 法比较不同数据组间差异性, 显著性水平  $p=0.05$ , 采用 Origin 2018 进行制图。

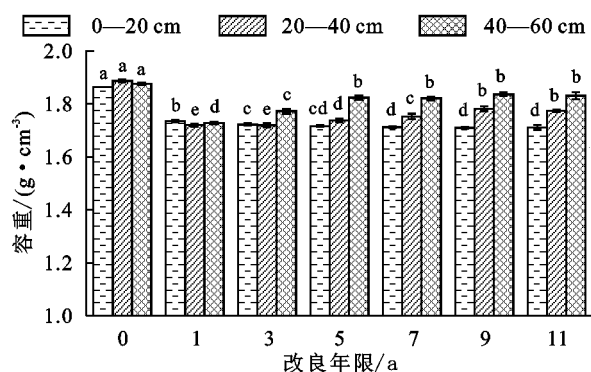
## 2 结果与分析

### 2.1 不同改良年限对土壤物理性质的影响

由图 1 可知, 盐碱地改良后, 随改良年限的增加, 不同土层的土壤容重差异越来越明显, 从 5 a 开始, 同一改良年限土壤容重均表现为随着土层深度增加而增加。盐碱地改良后, 0—20 cm, 20—40 cm, 40—60 cm 土层土壤容重均显著低于未改良的对照荒地 (0 a), 0—20 cm 土层的土壤容重随着改良年限的增加而缓慢降低, 从 5 a 开始土壤容重变化不明显, 11 a 的土壤容重最小, 相比对照降低了 17.63%。20—40 cm 和 40—60 cm 土层的土壤容重变化趋势基本一致, 均随着改良年限的增加而增加后趋于稳定, 20—40 cm 和 40—60 cm 土层的容重从 9 a 和 5 a 开始随时间变化不明显, 在 11 a 的土壤容重比对照降低了 12.7% 和 6.2%。

由图 2 可知, 盐碱地改良后, 随改良年限的增加, 不同土层的土壤总孔隙度差异越来越明显, 从 5 a 开始, 同一改良年限土壤总孔隙度随着土层深度增加而

增加。盐碱地改良后, 0—20 cm, 20—40 cm, 40—60 cm 土层土壤总孔隙度均显著高于未改良的对照荒地 (0 a), 0—20 cm 土层的土壤总孔隙度基本上随着改良年限的增加而缓慢增加, 从 5 a 开始变化不显著, 11 a 的总孔隙度为 46.3%, 相比 0 a 增加了 33.0%。20—40 cm 和 40—60 cm 土层的总孔隙度变化规律基本一致, 整体均随改良年限增加而减小后趋于稳定, 20—40 cm 和 40—60 cm 土层的总孔隙度分别从 9 a 和 5 a 开始变化不明显。



注: 不同字母代表组间差异显著 ( $p < 0.05$ ), 下同。

图 1 不同改良年限土壤容重的变化

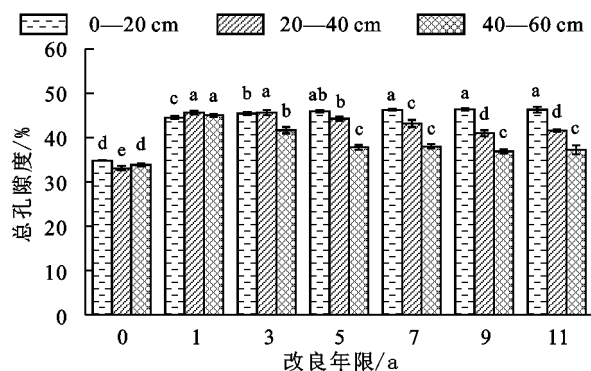


图 2 不同改良年限土壤总孔隙度的变化

由表 1 可知, 改良前后土壤机械组成整体基本相似, 均是粉粒 (0.002~0.02 mm) 含量最高, 砂粒 (0.02~2 mm) 次之, 黏粒 (<0.002 mm) 含量最低, 按照国际质土壤质地分级标准, 均为粉质壤土。改良前, 0 a 的黏粒含量在 20—40 cm 土层最高, 在 40—60 cm 土层最低, 粉粒含量随着深度增加而降低, 砂粒含量随着深度增加而增加。盐碱地改良后, 同一改良年限, 黏粒含量随着深度增加而增加, 粉粒含量随着深度增加而升高, 砂粒含量整体是随着深度增加而降低。盐碱地改良后, 0—20 cm 和 20—40 cm 土层的黏粒和粉粒含量均显著低于对照荒地 (0 a), 砂粒含量均显著高于对照荒地 (0 a)。40—60 cm 土层的黏粒含量相比对照荒地显著降低, 粉粒含量在 1 a 和 3 a 显著降低, 从 5 a 开始变化不明显, 和 0 a 无显著差异, 砂粒含量在 1 a 和 3 a 显著升高, 从 5 a 开始变化不明显,



和 0 a 无显著差异,表明 40—60 cm 土壤机械组成从 5 a 开始逐渐接近对照荒地。

表 1 不同改良年限的土壤机械组成的变化

改良 年限/a	土层 深度/cm	黏粒% <0.002 mm	粉粒% 0.002~0.02 mm	砂砾% 0.02~2 mm	土壤 质地
0	0—20	3.45±0.28a	68.84±3.11a	27.72±3.38c	粉质壤土
	20—40	3.64±0.25a	67.09±2.77a	29.27±3.02c	粉质壤土
	40—60	3.33±0.31a	65.34±3.06a	31.34±3.36c	粉质壤土
1	0—20	2.39±0.25b	57.66±3.99b	39.95±4.24b	粉质壤土
	20—40	2.43±0.19b	54.44±3.32cd	43.12±3.51a	粉质壤土
	40—60	2.77±0.20b	59.70±2.99b	37.53±3.18b	粉质壤土
3	0—20	1.94±0.17cd	52.13±2.08c	45.93±2.25a	粉质壤土
	20—40	2.44±0.15b	54.50±2.62cd	43.06±2.77a	粉质壤土
	40—60	2.91±0.26b	55.09±2.47c	42.00±2.73a	粉质壤土
5	0—20	2.09±0.04bc	54.98±0.56bc	42.93±0.55ab	粉质壤土
	20—40	2.15±0.06bc	52.59±0.45d	45.26±0.39a	粉质壤土
	40—60	2.04±0.10c	63.21±2.38ab	34.75±2.48bc	粉质壤土
7	0—20	1.87±0.17cd	53.49±2.45bc	44.64±2.62ab	粉质壤土
	20—40	1.88±0.15c	54.07±1.84cd	44.04±1.98a	粉质壤土
	40—60	2.88±0.20b	64.83±2.12a	32.29±2.31bc	粉质壤土
9	0—20	1.37±0.11e	55.56±2.18bc	43.08±2.29ab	粉质壤土
	20—40	2.37±0.16b	59.98±0.77b	37.66±0.93b	粉质壤土
	40—60	2.64±0.13b	63.03±0.37bc	34.32±0.50bc	粉质壤土
11	0—20	1.63±0.14de	54.10±2.62bc	44.28±2.48ab	粉质壤土
	20—40	2.01±0.25c	57.67±3.95bc	40.31±4.18ab	粉质壤土
	40—60	2.62±0.11b	64.09±1.40a	33.29±1.51bc	粉质壤土

注:不同字母代表同一列相同土层不同改良年限组间差异显著( $p<0.05$ )。

2.2 不同改良年限对土壤化学性质的影响

由图 3 可知,对照荒地(0 a)所有土层的土壤全盐含量均大于 3.0%,随着深度的增加而降低,改良后,同一改良年限的土壤全盐含量均表现为随深度增加而增加。盐碱地改良后,0—20 cm,20—40 cm,40—60 cm 土层土壤的全盐含量的变化规律相似,随着改良年限的增加,都呈现先下降后上升最后趋于平缓的趋势,0—20 cm,20—40 cm,40—60 cm 土层的全盐含量均显著低于未改良的对照荒地(0 a)。0—20 cm,20—40 cm 和 40—60 cm 土层的全盐含量在 5 a 达到 0.09%,0.19%和 0.30%,相比对照 0 a 分别降低了 97.7%,94.0%和 90.0%,3 a,5 a 和 7 a 全盐含量无显著差异,对浅层土壤的降盐效果要好于深层。11 a 时 3 个土层从浅层到深层的全盐含量依次为 0.32%,0.41%和 0.65%,相比之前显著增加,但是仍远远低于 0 a,改良模式的降盐效果在 11 a 依旧有效。

由图 4 可知,改良前,0 a 的碱解氮含量在 3 个土层深度基本上无差别,均略低于 15.0 mg/kg,盐碱地改良后,同一改良年限,土壤碱解氮含量基本呈现随

土层深度增加而减小的趋势。盐碱地改良后,所有土层的土壤碱解氮含量均远远高于对照荒地(0 a)。0—20 cm 和 40—60 cm 土层的土壤碱解氮含量变化趋势相似,表现为随改良年限增加先升高后降低最后趋于稳定,在 7 a 时碱解氮含量最高,相比 0 a 对应土层增加了 2.87 倍和 1.74 倍,同一土层的 9 a 和 11 a 均无显著性差异,其中在 11 a 时碱解氮含量分别为 44.2 mg/kg 和 30.3 mg/kg,均明显高于 0 a。20~40 cm 的碱解氮含量随着改良年限增加先增加后降低,5 a 时碱解氮含量最高,相比 0 a 增加了 2.49 倍,从 5 a 开始逐年显著降低,11 a 时的碱解氮含量为 29.2 mg/kg,相比 0 a 增加了 1.08 倍。

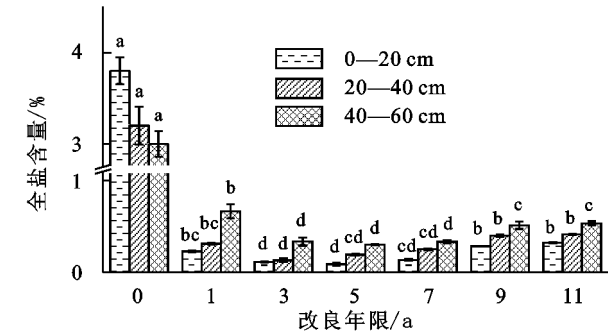
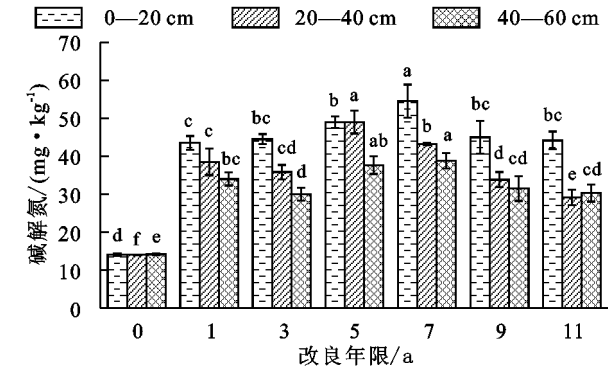


图 3 不同改良年限土壤全盐含量的变化



注:不同字母代表相同土层不同改良年限组间差异显著( $p<0.05$ )。

图 4 不同改良年限土壤碱解氮的变化

由图 5 可知,改良前,不同土层的速度磷含量基本无差别,均略低于 20 mg/kg,盐碱地改良后,同一改良年限(除 1 a 外),土壤速效磷含量随土层深度增加而降低。盐碱地改良后,所有土层(除 11 a 的 40—60 cm 外)的土壤速效磷含量均显著高于对照荒地。0—20 cm 和 20—40 cm 土层的速度磷含量变化趋势相似,都是随改良年限增加先升高后降低,均在 5 a 时速度磷含量最高,相比 0 a 增加了 1.18 倍和 0.95 倍,在 11 a 时速度磷含量分别为 31.9 mg/kg 和 24.8 mg/kg,仍显著高于 0 a。40—60 cm 的土壤速效磷含量随改良年限的增加而显著降低,在 1 a 时最高为 34.9 mg/kg,相比 0 a 增加了 0.84 倍,11 a 的含

量为 20.2 mg/kg,略高于 0 a,但差异不显著。

由图 6 可知,改良前,0 a 的土壤有机质含量基本无差别,在 12.5~13.5 mg/kg,同一改良年限的有机质含量基本上随着深度的增加而降低。盐碱地改良后,随着改良年限的增加,3 个土层的有机质含量均呈现先升高后降低的趋势,0—20 cm 的有机质含量始终显著高于 0 a,在 7 a 时最高,相比 0 a 增加了 1.14 倍,20—40 cm 和 40—60 cm 有机质含量在 5 a 时最高,40—60 cm 的有机质在 9 a 和 11 a 均显著低于 0 a,分别为 7.2 mg/kg 和 8.7 mg/kg,20—40 cm 的有机质含量在 11 a 显著低于 0 a,为 11.1 mg/kg。

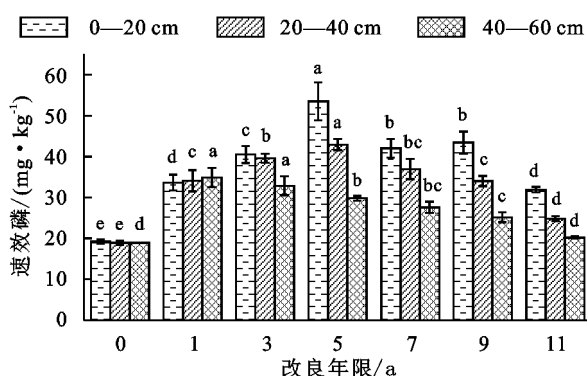


图 5 不同改良年限土壤速效磷的变化

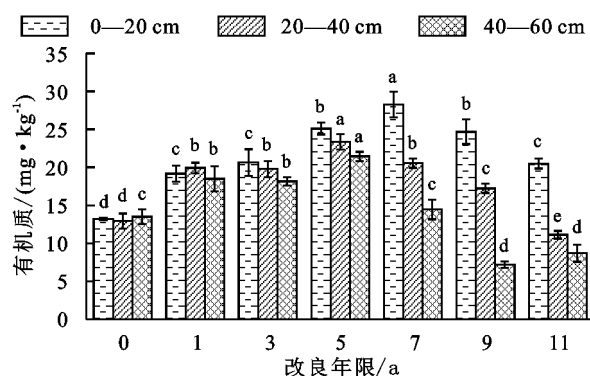


图 6 不同改良年限土壤有机质的变化

### 3 讨论

相比对照荒地,该模式改良后的土壤容重显著降低,总孔隙度显著升高,土壤(40—60 cm 除外)的黏粒和粉粒含量均显著降低。研究发现,改良 5 a 之前,深翻土壤和添加秸秆对土壤容重和孔隙度的改变影响巨大。在 1 a 土壤容重急剧降低,总孔隙度急剧升高,主要是因为改良时土壤深翻,掺拌秸秆,外部机械力破坏了原有的土壤结构,增大土壤透水性,同时破坏土壤毛管,这与李可晔等<sup>[2]</sup>在研究土壤改良添加剂对滨海盐碱地的改良效果的结果相一致。本研究发现,随着改良年限的增加,20—40 cm 和 40—60 cm 土层土壤容重逐渐增大,总孔隙度逐渐减小。这

是因为随着改良年限的增加,在重力作用下,土壤会逐渐压实,深翻的效果逐渐减弱,土层越深,深翻效果减弱的越快,同时,秸秆会被微生物缓慢分解,土壤进一步压实,土壤透气性变差,也会导致容重变大,5 a 之后,土壤有机质含量随改良年限增加而降低,表明最开始改良盐碱地添加的秸秆和半腐熟牛粪逐渐消耗殆尽,使得此时的深层土壤的容重迅速增大。而有研究<sup>[11-12]</sup>表明盐碱地植物的根系生长能在一定程度上改善土壤结构,增加土壤透气性,减小土壤容重,该模式中种植的芙蓉葵的根部主要分布在浅层,因此 0—20 cm 土层的容重会随改良年限增加而缓慢降低,和深层土壤容重变化规律相反。

土壤全盐含量是影响滨海盐碱地抑制植物生长的最重要因素。有研究表明,掺拌磷石膏、滴灌洗盐、暗管排盐和种植植物均能持久有效的降低土壤中全盐含量<sup>[5,8-12]</sup>,本研究也得到相同结果,利用该模式改良 5 a 时,土壤全盐含量相比改良前的盐碱荒地降低了 90% 以上,原因是进行最开始改良时,滴灌使得土壤盐分被大量淋洗,沿着排盐管进入明沟,之后磷石膏分解出的  $\text{Ca}^{2+}$  会将土壤胶体中的  $\text{Na}^{+}$  交换出来,被自然降雨淋洗掉,同时,深翻土壤和掺半秸秆破坏了原来的土壤毛管结构,地下水中盐分无法沿着土壤毛管上升到上层土壤。而 5 a 之后,深翻和掺半秸秆对土壤结构的改良效果逐渐减弱,全盐含量逐渐上升,但此时芙蓉葵持续改良土壤效果逐渐突显,多年的根系生长使得土壤砂粒含量升高,透水性增强,盐分可以被自然降水洗掉,使土壤全盐含量仍能维持在一个远远低于盐碱荒地的水平。本研究还发现,改良后的土壤全盐含量随着土层深度的增加而增加,与未经改良的盐碱地正好相反,是由于盐碱地改良后随着土层深度的增大,土壤黏粒和粉粒含量基本上也是增大,盐分的容易在深层土壤吸附集聚,这与何海锋等<sup>[12]</sup>的研究结果相一致。

土壤有机质作为土壤肥力的一个重要指标,也是土壤各种速效养分的重要来源<sup>[19]</sup>,在盐碱地脱盐过程中起着积极的促进作用,有机质含量越高,土壤物理性质越好,速效养分含量越高<sup>[13]</sup>。本研究表明,利用该模式改良滨海盐碱地,土壤表层的有机质、碱解氮和速效磷含量高于深层,呈现明显的“表聚现象”这与南丽丽的研究结果相一致<sup>[20]</sup>,这是因为芙蓉葵根系主要分布在上层土壤,土壤透气性好,微生物活动频繁,分解秸秆和半腐熟牛粪,增加土壤中的速效养分,而土壤表层的有机质增加还与芙蓉葵凋落物在表

层土壤的聚集有关。随着改良年限的增加,土壤的有机质、碱解氮和速效磷含量均先上升后下降,基本都在5~7 a达到最大值,这是因为掺拌的秸秆,半腐熟牛粪和磷石膏被持续分解,在5~7 a逐渐消耗完,7 a之后有机质和速效养分消耗量大于积累量,这和徐艳霞的研究结果相一致<sup>[21]</sup>。40—60 cm在9 a和11 a土壤有机质和速效磷含量开始接近甚至低于未改良的对照荒地,这是因为深层有机质和速效磷来源主要是表层土壤,随着改良年限的增加,土壤容重增大,总孔隙度减小,养分循环变慢,深层土壤的有机质和速效磷输入速率逐年降低,这与杨玉梅等的观点相一致<sup>[22]</sup>。

## 4 结论

利用原土直栽绿化综合改良模式改良滨海盐碱地后,土壤的理化性质相比未改良的盐碱地均得到明显改善。随着改良年限的增加,对0—20 cm土壤物理性质的改良效果越来越好,对20—40 cm和40—60 cm土层土壤物理性质的改良效果在一定程度上逐渐减弱,3个土层土壤的全盐含量均先降低后升高,有机质和速效养分含量先升高后降低。总体来说,原土改良模式对土壤的综合改良效果在第5年达到最优,11 a时土壤的物理化学性质整体上仍明显优于改良前,40—60 cm土层的有机质和速效磷的含量在11 a时接近未改良的盐碱地,因此,可以在11 a时可以增施有机肥补充土壤中的有机质和速效养分。

### 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] 李可晔,薛志忠,王文成,等.滨海盐碱地土壤改良添加物筛选研究[J].北方园艺,2014(19):165-168.
- [3] 王合云,李红丽,董智,等.滨海盐碱地不同造林树种改良土壤效果研究[J].水土保持研究,2016,23(2):161-165.
- [4] 韩剑宏,王旭平,张连科,等.玉米秸秆与污泥的腐解物对盐碱地化学指标的影响[J].水土保持研究,2017,24(3):103-107.
- [5] 耿其明,闫慧慧,杨金泽,等.明沟与暗管排水工程对盐碱地开发的土壤改良效果评价[J].土壤通报,2019,50(3):617-624.
- [6] 商振芳,谢思绮,罗旺,等.我国盐碱地现状及其改良技术研究进展[C]//中国环境科学学会,2019中国环境科学学会科学技术年会论文集(第三卷).中国环境科学学会:中国环境科学学会,2019:2773-2782.
- [7] 季洪亮,路艳.滨海盐碱地生态修复效果评价[J].西北林学院学报,2017,32(2):301-307.
- [8] 邹璐,范秀华,孙兆军,等.盐碱地施用脱硫石膏对土壤养分及油葵光合特性的影响[J].应用与环境生物学报,2012,18(4):575-581.
- [9] 窦超银,康跃虎.地下水浅埋区重度盐碱地不同滴灌种植年限土壤盐分分布特征[J].土壤,2010,42(4):630-638.
- [10] 王旭,田长彦,赵振勇,等.滴灌条件下盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)种植年限对盐碱地土壤盐分离子分布的影响[J].干旱区地理,2020,43(1):211-217.
- [11] 魏晓斌,王志锋,于洪柱,等.不同生长年限苜蓿对盐碱地土壤肥力的影响[J].草业科学,2013,30(10):1502-1507.
- [12] 何海锋,吴娜,刘吉利,等.柳枝稷种植年限对盐碱土壤理化性质的影响[J].生态环境学报,2020,29(2):285-292.
- [13] 王巍巍.不同种稻年限苏打盐碱地水田土壤酶活性变化及其与养分含量关系[D].长春:吉林农业大学,2016.
- [14] 孙昌禹,王文成,郭艳超,等.滨海泥质重盐碱地原土直栽绿化技术[J].北方园艺,2012(4):102-103.
- [15] 朱琴,左丽明,马旺.唐山市丰南区沙河口土壤改良与绿化技术研究[J].安徽农业科学,2014,42(23):7971-7973.
- [16] 王文成,孙宇,郭艳超,等.滨海泥质重盐碱地综合改良与植被构建关键技术研究[J].现代农业科技,2014(4):207-208.
- [17] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000,30-172.
- [18] 吴焕焕,吕家珑,段英华,等.激光衍射法测定中国典型土壤颗粒分布的模型建立与验证[J].中国农业科学,2013,46(20):4293-4300.
- [19] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科技出版社,1978:132.
- [20] 南丽丽,郁继华,郭全恩,等.苜蓿不同种植年限对土壤化学性状及酶活性的影响[J].干旱区资源与环境,2015,29(10):100-105.
- [21] 徐艳霞,黄新育,蓝岚,等.不同种植年限紫花苜蓿田土壤理化性质和酶活性研究[J].黑龙江畜牧兽医,2018(13):157-160.
- [22] 杨玉海,蒋平安.不同种植年限苜蓿地土壤理化特性研究[J].水土保持学报,2005,19(2):110-113.