

文章编号: 1003-8701(2015)05-0053-05

苏打盐碱地水田的快速改良研究

周 薇, 王鸿斌*, 朴海淑, 张 唤

(吉林农业大学资源与环境学院/吉林省商品粮基地土壤资源可持续利用重点实验室, 长春 130118)

摘 要: 为了揭示不同改良措施对盐碱土改良培肥的影响效果, 并筛选出较有效、快速的改良措施, 本文研究了不同改良措施下土壤剖面速效养分含量、有机质含量、可溶性盐总量的分布特征及微团聚体、机械组成的变化, 共设了如下4个处理: 施用有机肥改良3年(T_1)、施用有机肥改良6年(T_2)、单施 $Al_2(SO_4)_3$ 改良3年(T_3)和有机肥与 $Al_2(SO_4)_3$ 混合施用改良3年(T_4)。结果表明: 不同的改良措施都使速效养分、有机质含量得到了快速提升, 含盐量大幅降低, 土壤结构明显改善。在0~10 cm土层中有机质含量互相之间存在显著性差异, T_4 处理最优, 速效养分含量与其变化趋势基本一致, 除速效磷外。各处理的可溶性盐总量整体的脱盐效果为 $T_4 > T_3 > T_2 > T_1$ 。从结构系数和分散系数来看, 在表层土壤中 T_4 处理明显优于其他处理。综合来看有机肥与硫酸铝混合施用的处理最优, 达到了快速改良的目的。

关键词: 苏打盐碱地; 水田; 快速改良

中图分类号: S156.2

文献标识码: A

Studies on Rapid Amendment of Soda Saline-Alkaline Paddy Fields

ZHOU Wei, WANG Hong-bin*, PIAO Hai-shu, ZHANG Huan

(College of Resources and Environment, Jilin Agricultural University / Key Laboratory of Soil Resource Sustainable Utilization for Jilin Province Commodity Grain Bases, Changchun 130118, China)

Abstract: In order to reveal the effect of different measures on improvement of the saline-alkali soil fertility and select the effective and fast improving measures. The distribution of organic matter and absorbable nutrition content, total soluble salts, the changes in micro-aggregates and mechanical composition under different amend measures were studied in the paper. Four treatments were adopted, i.e., 3 year organic fertilizer amendment (T_1), 6 year organic fertilizer amendment (T_2), 3 year $Al_2(SO_4)_3$ amendment (T_3), 3 year organic fertilizer add $Al_2(SO_4)_3$ amendment (T_4). Results showed that the organic matter and absorbable nutrition promoted rapidly, the content of salt decreased and the physical of soil improved significantly in different amendments. The content of organic mater in 0~10 cm layer was significant different among each treatments, and T_4 treatment is the best. It is the same with absorbable nutrition besides available P. The total desalting effect were $T_4 > T_3 > T_2 > T_1$. From the structure coefficient and dispersion, the T_4 treatment was significantly better than others. Totally, organic fertilizer add $Al_2(SO_4)_3$ was the best treatment to achieve a rapid amendment objective.

Key words: Saline-alkaline fields; Paddy fields; Rapid amendment

在干旱半干旱气候区, 盐碱过重是导致土壤退化的主要原因, 严重影响了农业的可持续发展^[1-2]。改良盐碱土需要解决两方面的问题, 一是肥力低, 最显著的特征就是速效养分、有机质含量低; 二是盐分过高, Na^+ 的大量存在使土壤遇水

容易板结, 使透水、透气和可耕性变差从而导致不良的物理结构。这些不良的物理化学性质影响了大多数植物的生长发育^[3]。

松嫩平原位于 $N42^{\circ}30' \sim 51^{\circ}20'$ 和 $E121^{\circ}40' \sim 128^{\circ}30'$, 是中国东北部主要的盐碱土分布区^[4-5]。为了更有效地利用这些盐碱土, 人们普遍应用有机肥、种稻等措施对盐碱土进行改良。目前, 在中度以下盐碱土上种稻, 经过潜水压盐和灌溉冲洗, 3~4年后形成淡化耕层, 产量可达6000~7500 kg/hm²。5年后, 才能形成明显淡化耕层。这样就使改良的时间过于漫长^[6]。石膏在常温条件

收稿日期: 2015-03-27

基金项目: 国家科技支撑计划(2013BAC09B01); 省科技厅重大项目(2013204050SF)

作者简介: 周 薇(1989-), 女, 在读硕士, 研究方向: 土壤肥力调控与土壤改良。

通讯作者: 王鸿斌, 男, 博士, 教授, E-mail: asionwang@163.com

下溶解度只有 30 cmol/kg,使用量大且反应时间长。在较短的时间内形成适于植物生长的淡化表层,还缺乏一套较为成熟的适于松嫩平原苏打盐碱地的改良措施。

因此,本文就现存的这些问题,选择了水溶性的 $Al_2(SO_4)_3$ 作为改良措施之一,施用后数小时内就可以完全溶解。选择施有机肥种稻改良 3 年、6 年的土样和施硫酸铝、施有机肥加硫酸铝改良 3 年的土样作为研究对象,综合选择出改良快速、效果显著的技术措施。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

研究区域位于总面积约为 900 hm^2 的松嫩平原南部的吉林省前郭县套浩太乡碱巴拉村,成土母质为河湖相沉积物,年蒸降比为 2.4 ~ 3.8,植被覆盖率不足 20%,1980 年以前没有耕地,1985 年后开垦为水田。

1.2 供试土壤

供试土样采自松嫩平原南部的吉林省前郭县套浩太乡碱巴拉村的水稻田,试验共设如下 4 个处理:施用有机肥改良 3 年(T_1)、施有机肥改良 6 年(T_2)、单施硫酸铝改良 3 年(T_3)、有机肥与硫酸铝混合施用改良 3 年(T_4)。每个处理分 5 个剖面(0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm、20 ~ 30 cm、30 ~ 50 cm、50 cm 以下)采集土样。采样时间为 2013 年 5 月 10 日,为春季积盐期,具有明显的盐分分布特征。土样采回实验室后,经室内风干,研磨后备用。

1.3 测定方法

可溶性盐测定中,水浸液的制备采用 1:5 的土水比,振荡 5 min,用高速离心机以 10 000 $r \cdot min^{-1}$ 的转速离心 10 min,上清液用于测试;碱解氮采用碱解扩散法;速效磷采用钼锑抗比色法;速效钾采用火焰光度计法;有机质采用重铬酸钾容量法;机械组成和微团聚体根据 Stoke's 定律,利用静水沉降法测定。

1.4 数据分析

采用 Excel 2003 和 origine 8.5 软件对数据进行处理,用 DPS 2.0 对数据进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同改良方式下苏打盐碱地速效养分含量变化

速效养分是指能被植物吸收利用的那部分养分,对于作物生长起着至关重要的作用,也是反映土壤肥力的重要指标之一。

2.1.1 不同改良方式下苏打盐碱地碱解氮含量变化

图 1 为不同改良措施下苏打盐碱地碱解氮含量变化分布图。从图中可以看出,在 0 ~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm 土层中,碱解氮含量在同样改良 3 年的条件下互相之间存在显著性差异,且这 3 个处理与 T_2 处理相比,只有 T_4 处理高于 T_2 处理。在其他剖面层次中碱解氮含量均是 $T_4 > T_2 > T_3 > T_1$ 。 T_2 处理的碱解氮含量虽然随剖面层次逐渐递减,含量在 46.55 ~ 75.48 mg/kg 之间,但在同层条件下显著高于其他处理。

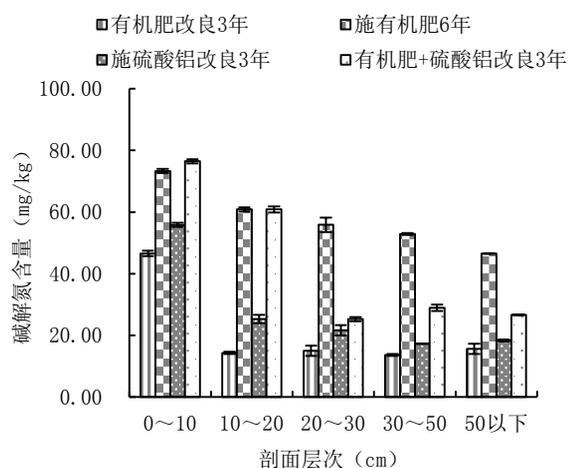


图 1 不同改良措施下苏打盐碱地水田碱解氮含量变化分布图

由分析可知,表层有机质的加入主要源于有机肥的加入,总体来看 T_4 改良 3 年的改良效果较优,尤其在表层,但从整个层次看 T_2 处理改良的效果较好。

2.1.2 不同改良方式下苏打盐碱地速效磷含量变化

图 2 为不同改良措施下苏打盐碱地速效磷含量变化分布图。

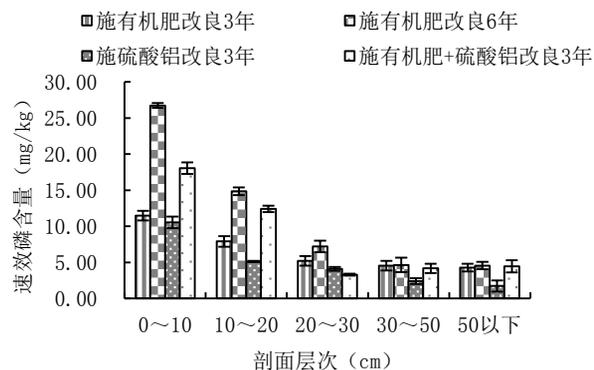


图 2 不同改良措施下苏打盐碱地水田速效磷含量变化分布图

量变化分布图。从图中可以看出,0~10 cm和10~20 cm土层中,4种速效磷含量互相之间呈显著性差异,在同样改良3年情况下,速效磷含量 $T_4 > T_1 > T_3$, T_2 处理显著高于其他3个处理。在其他剖面层次中均是 T_2 含量最高,且速效磷含量均随土层深度增加而增加。

由分析可知,硫酸铝的加入对速效磷含量的增加没有多大影响,它的增加主要来自有机肥和根茬还田。综合来看 T_2 处理最优。

2.1.3 不同改良方式下苏打盐碱地速效钾含量变化

图3为不同改良措施下苏打盐碱地速效钾含量变化分布图。从图中可以看出,在0~10 cm土层中,速效钾含量在同样改良3年条件下互相之间存在显著性差异,其中速效钾含量 T_4 比 T_1 高78.52%, T_3 比 T_1 高8.33%, T_4 比 T_3 高64.79%,且这3个处理与 T_2 相比,只有 T_4 速效钾含量显著高于 T_2 。均随土层深度增加速效钾含量逐渐减少。在土层深度达到20 cm以下后,速效钾含量基本一致。

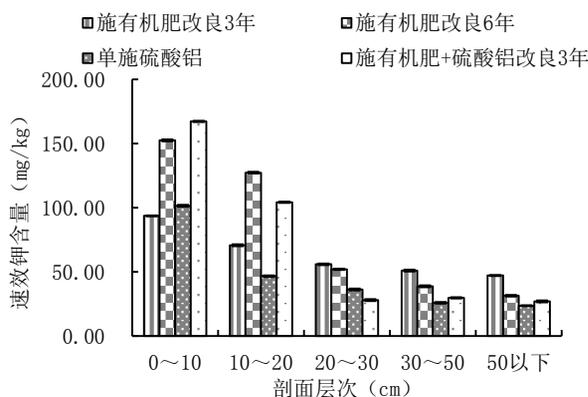


图3 不同改良措施下苏打盐碱地水田速效钾含量变化分布图

由分析可知,表层中速效钾的快速提升主要源于有机肥和 $Al_2(SO_4)_3$ 的施加。总体来看, T_4 改良3年的改良效果优于其他3个处理。

2.2 不同改良措施下苏打盐碱地水田有机质含量变化

图4为不同改良措施下苏打盐碱地水田有机质含量变化分布图。从图中可以看出,在0~10 cm土层中,有机质含量在同样改良3年条件下互相之间存在显著性差异,其中有机质含量 T_4 比 T_1 高49.7%, T_3 比 T_1 高9%, T_4 比 T_3 高42%,且这3个处理与 T_2 相比,只有 T_4 有机质含量显著高于 T_2 ,提高了4.3%。在其他剖面层次中除10~20 cm剖面的有机质含量趋势与0~10 cm剖面一致外,均以 T_2 处理的有机质含量最高, T_1 处理的最低,并且各处理有机质含量均随土层深度增加而减少,在土

层深度达到20 cm以下后,有机质含量基本一致。

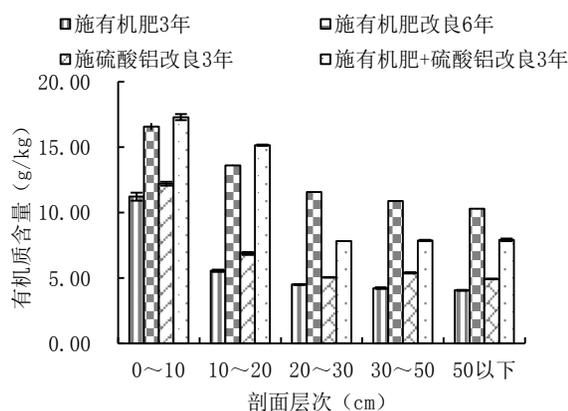


图4 不同改良措施下苏打盐碱地水田有机质含量变化分布图

由分析可知,表层中有机质的快速提升主要源于有机肥的施入,其次是 $Al_2(SO_4)_3$ 的施加,它间接增加了有机质含量。总体来看, T_4 改良3年的改良效果优于其他3个处理,从而快速地提高了土壤肥力,大大缩短了盐碱土的改良时间。

2.3 不同改良措施下苏打盐碱地水田可溶性盐总量的变化及分布特征

图5为不同改良措施下盐碱地水田可溶性盐

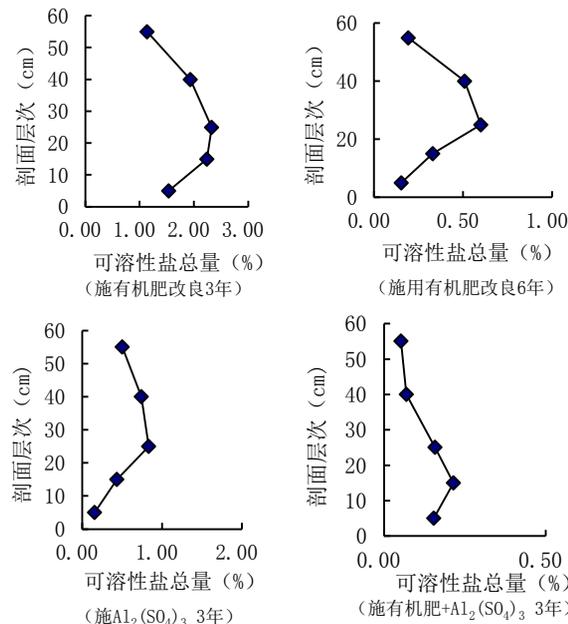


图5 不同改良方式下苏打盐碱地水田土壤可溶性盐总量的变化

总量的剖面分布曲线,可以看出这4个处理的剖面可溶性盐总量均成“>”型,均以中部的含盐量最高,变化幅度为0.21%~2.33%,整体的脱盐效果为 $T_4 > T_3 > T_2 > T_1$ 。在0~10 cm剖面层次中, T_2 、 T_3 、 T_4 含盐量无差异,但均与 T_1 处理呈极显著差异($p < 0.01$)

且可溶盐总量降低约10倍。在表层上, T_4 、 T_3 处理改良3年的脱盐效果与 T_2 处理改良6年的脱盐效果无差异,在短时间内建立了“淡化表层”。在10 cm以下各剖面层次的含盐量均是 $T_4 > T_3 > T_2 > T_1$ 。脱盐效果的快速性主要源于 $Al_2(SO_4)_3$, 有机物质在一定程度上也可以降低盐分含量。

2.4 不同改良措施对微团聚体及机械组成的影响

土壤颗粒是构成土壤结构的主要组分,土壤微团聚体也是土壤有机无机复合体的一种存在形式,微团聚体的颗粒大小组成直接影响水田土壤结构性。表1为不同处理下不同层次的微团聚体、机械组成颗粒含量百分数的变化表。从表中总体形势看,土壤颗粒组成和微团聚体颗粒组成

主要集中在0.2 mm ~ 0.02 mm这一粒径范围内。在0 ~ 10 cm土层中,其他3个处理与 T_1 相比(<0.002 mm粒径),微团聚体减少了6.32% ~ 4.51%,其中以 T_4 处理的百分含量最小;相反增加了0.02 ~ 0.002 mm粒径范围的微团聚体数量。从结构系数和分散系数来看, T_4 处理明显优于其他处理。在表土层中,有机肥改良3年的分散系数高达84.03%,结构系数为15.91%,其他处理的分散系数较其分别降低了42.64%、38.41%、44.72%,结构系数相应增加。总体结构的优劣顺序是 $T_4 > T_2 > T_3 > T_1$ 。可以看出施用有机肥+ $Al_2(SO_4)_3$ 改良3年的结构优于其他处理,达到了快速改良盐碱土结构的目的。

表1 不同改良措施对微团聚体及机械组成的影响

剖面深度(cm)	处理	微团聚体各粒径 (mm)含量百分数 A				机械分析各粒径 (mm)含量百分数 B				结构系数(%) (B<0.002-A<0.002)*100/B <0.002)	分散系数(%) A<0.002*100/B<0.002
		2 ~ 0.2	0.2 ~ 0.02	0.02 ~ 0.002	<0.002	2 ~ 0.2	0.2 ~ 0.02	0.02 ~ 0.002	<0.002		
0 ~ 10	施有机肥3年	5.08 Aa	73.18 Aa	7.14 Cc	14.61 Bb	4.86Aa	65.77 Aa	5.10 Aa	17.38 Cc	15.91Bb	84.09 Aa
	施有机肥6年	4.10 Bb	67.98Bbc	19.64 Aa	8.29 Dd	3.52Bb	58.81 Aa	6.13 Bb	19.99 Bb	58.55 Aa	41.45 Bb
	施 $Al_2(SO_4)_3$ 3年	4.96 Aa	69.60 ABb	15.34 Bb	10.10 Aa	4.18Cc	59.10 Aa	5.91 Cc	22.11 Bb	54.32Bb	45.68 Aa
	施有机肥+ $Al_2(SO_4)_3$ 3年	5.06 Aa	65.97 Bc	19.54 Aa	8.02 Cc	4.00Dd	52.93 Aa	9.53 Dd	22.54 Aa	60.63Aa	39.37 Bb
10 ~ 20	施有机肥3年	5.03 Aa	72.61 Aa	4.36 Cc	15.00 Aa	4.65Bb	66.19 Aa	3.07 Aa	17.99 Aa	16.62 Cc	83.38Aa
	施有机肥6年	4.49 Bb	66.94 Bb	15.60 Aa	12.97 Bb	4.70 Bb	57.60 Aa	7.60 Bb	19.45 Aa	33.30Bb	66.70 Bb
	施 $Al_2(SO_4)_3$ 3年	4.49 Aa	70.32 AaBb	13.75 Bb	12.43 Bc	5.07 Aa	59.67 Aa	5.94 Cc	19.54 Aa	36.39 Cc	63.61 Cc
	施有机肥+ $Al_2(SO_4)_3$ 3年	4.88 Bb	69.10 AaBb	15.72 Aa	10.31 Cd	4.24 Cc	54.38 Aa	10.27 Dd	20.16 Aa	48.86Aa	51.14 Dd
20 ~ 30	施有机肥3年	5.03 Bb	77.22 Aa	5.69 Cd	12.07 Cc	5.29Bb	66.62 Aa	7.92 Aa	14.17 Bb	14.83Cc	85.17 Aa
	施有机肥6年	6.45 Aa	68.15 Bb	11.44 Bb	13.96Bb	5.98 Aa	61.91 Bb	4.90 Bb	20.86 Aa	33.10 Bb	66.90 Bb
	施 $Al_2(SO_4)_3$ 3年	4.95 Bb	71.70ABb	7.31 Cc	16.04 Aa	4.85 Cc	60.44 Cc	1.09 Cc	24.15 Aa	33.58Bb	66.42Bb
	施有机肥+ $Al_2(SO_4)_3$ 3年	3.55 Cc	75.84 Aa	16.01 Aa	4.60Dd	3.45 Dd	55.43 Dd	10.80 Dd	17.92 Aa	74.31Aa	25.69Cc
30 ~ 50	施有机肥3年	6.00 Aa	69.55 Aab	6.53 Dd	17.92 Aa	5.53 Bb	62.19 Aa	3.32 Aa	19.61 Aa	8.63 Dd	91.37Aa
	施有机肥6年	5.75Ab	69.10 Ab	11.07 Bb	14.08 Bb	5.89 Aa	59.38 Bb	6.51 Bb	19.12 Aa	26.34Bb	73.66 Bb
	施 $Al_2(SO_4)_3$ 3年	5.18Bc	71.01 Aab	9.76 Cc	14.05 Bb	4.54 Cc	59.12 Bb	8.83 Cc	16.37 Aa	14.16Cc	85.84 Cc
	施有机肥+ $Al_2(SO_4)_3$ 3年	4.63Cd	73.66 Aa	16.26 Aa	5.45 Cc	3.80 Dd	62.86 Aa	2.66 Dd	17.56 Aa	68.99Aa	31.01Dd
50 以下	施有机肥3年	6.19 Aa	69.03 Aa	7.99 Aa	16.79 Aa	5.26 Bb	64.92 Aa	1.95 Aa	18.85 Aa	10.92 Dd	89.08Aa
	施有机肥6年	5.45 Bb	70.49 Bb	12.11 Aa	11.95 Bb	5.43 Aa	59.41 Cc	4.51 Bb	17.55 Aa	31.88Cc	68.12Bb
	施 $Al_2(SO_4)_3$ 3年	4.56 Cc	72.46 Cc	16.05 Aa	6.93 Cc	4.09 Cc	63.25 Bb	3.43 Cc	17.77 Aa	60.97Bb	39.03Cc
	施有机肥+ $Al_2(SO_4)_3$ 3年	3.95Dd	75.46 Dd	15.35 Aa	5.25 Dd	3.61 Dd	57.51 Dd	1.45 Dd	23.01 Aa	77.20 Aa	22.80Dd

3 结论与讨论

本文通过比较不同改良措施下土壤速效养分含量、有机质含量、可溶性盐含量及土壤结构的变化,筛选出科学合理的改良方法,在较短时间内实现预期目标。在本研究中速效养分的变化主要源于有机肥的施入;铝离子是间接作用。有效

磷含量的变化,除有机肥影响外,铝离子的加入使土壤的pH降低,促进了有效磷的增加,但也因铝离子加入固定了一部分磷,就出现了本文研究结果。速效钾含量的增加,铝离子作为三价阳离子交换出土壤颗粒上的一价钾离子,增加了有效钾含量。而有机质的快速提升,一方面铝离子进入土壤后作为连接的“桥梁”,促进了有机无机复

合胶体的形成,从而增加了矿质颗粒对有机质的吸附。另一方面,铝离子的加入,使盐分降低,pH降低,为植物提供了一个良好的生长环境,促使根系发达,进而产生大量根系分泌物,并且在秋季就会有大量根茬可以还田,间接提升了土壤有机质含量^[7],这就很好地解释了硫酸铝与有机肥混合施用改良3年的有机质含量远大于其他3个处理的这一结果。

本文中物理性质的改善,盐分的降低主要是有机物质与硫酸铝共同对土壤改良的结果。盐分含量的大量降低,主要依靠离子交换作用,并且这种方法降低盐分的速度比较快。如姚荣江等研究磷石膏改良剂对江苏如东滨海盐土理化性状的影响,发现磷石膏能明显提高土壤养分、减轻盐害^[9]。在本研究中硫酸铝施入后首先要交换出土壤胶体上大量的钠离子,机理如下:铝离子改良剂+H₂O=羟基铝离子+nH⁺; 2H+CaCO₃=Ca²⁺+H₂O+CO₂; 土壤胶体-2Na⁺+Ca²⁺=土壤胶体-Ca²⁺+2Na⁺^[10]。这与迄今为止大多数研究者施用石膏改良盐碱土的机理相似,都是通过离子交换,交换出Na⁺,之后通过排水措施将其排出。有机物质在一定程度上也可以降低盐分含量,如刘莉萍、刘兆普等研究发现牛粪的施入使脱盐率达到37.76%~44.10%,这样就加快了排盐速度^[11],为在短时间内建立淡化表层提供了条件。出现了本研究中如下结果:整体的脱盐效果为T₄>T₃>T₂>T₁。在0~10 cm剖面层次中,T₂、T₃、T₄含盐量无差异,但均与T₁处理呈极显著差异(p<0.01)且可溶性盐总量降低约10倍。Na⁺的排出,有机物质的加入,促进了有机无机复合体的形成、粘土矿物的絮凝,这是土壤颗粒聚合的本质^[12],这样就增加了土壤结构的稳定性,增加了土壤通气、透水性。Tripathi等人研究还发现有机物加大了其阴极位点对于钠的吸附,降低了ESP、SAR,提高了土壤的渗透度^[13],从而使改良土壤的物理结构处在较为良好的状态。对应了本研究有机肥料改良3年表层的分散系数达到84.03%,结构系数为15.91%,其他处理的分散系数较其分别降低了42.64%、38.41%、44.72%,结构系数相应增加。总体结构的优劣顺序是T₄>T₂>T₃>T₁的结论。王天平、曲长风等研究发现,土壤团粒形成、代换量增加会破坏盐分的上升,从而使全盐量降低^[14-15]。为植物生长提供了一个优良环境。盐分的减少促进了物理性质的改善,物理结构优化又增加了盐分的排出和上移,相互之间处在一个良性的循环当中。

综合所有因素可以得出有机肥+Al₂(SO₄)₃改良

是最快速建立“淡化表层”,改良盐碱土的改良措施。这种处理方式在短时间内可以使水稻产量达较稳定状态。为农民快速增产增收提供了良好的改良方式及理论依据。

参考文献:

- [1] Qadir M, Noble A D, Schubert S, et al. Sodicity-induced land degradation and its sustainable management: problems and prospects[J]. Land Degradation and Development, 2006(17): 661 - 676 .
- [2] Qadir M, Oster J D, Schuber S, et al. Phytoremediation of sodic and saline-sodic soils[J]. Advances in Agronomy, 2007(96): 197-247 .
- [3] Qadir M, Oster J D. Vegetative bioremediation of calcareous sodic soils: history, Mechanisms, and evaluation[J]. Irrigation Science, 2002(21): 91-101 .
- [4] C M Chi, C W Zhao, X J Sun, et al. Reclamation of saline-sodic soil properties and improvement of rice(*Oriza sativa* L.) growth and yield using desulfurized gypsum in the west of Songnen Plain, northeast China[J]. Geoderma, 2012(187-188): 24-30 .
- [5] 徐 璐,王志春,赵长巍,等. 东北地区盐碱土及耕作改良研究进展[J]. 中国农学通报, 2011, 27(27): 23-31 .
- [6] 赵兰坡,冯 君,王 宇,等. 不同利用方式的苏打盐渍土剖面盐分组成及分布特征[J]. 土壤学报, 2011, 48(5): 905-911 .
- [7] 赵 晶,孟庆峰,周连仁,等. 长期使用有机肥对草甸碱土土壤酶活性及养分特征的影响[J]. 2014(2): 23-26 .
- [8] 丁宁宁,王保松,梁珍海,等. 江苏大丰麋鹿保护区不同改良措施对滩涂土壤的改良效应研究[J]. 土壤, 2011, 43(3): 487-492 .
- [9] 姚荣江,杨劲松,陈小兵,等. 苏北海涂典型围垦区土壤盐渍化风险评估[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(5): 1000-1006 .
- [10] 赵兰坡,冯 君,王 宇,等. 松嫩平原盐碱地种稻开发的理论与技术问题[J]. 吉林农业大学学报, 2012, 34(3): 237-241 .
- [11] 刘莉萍,刘兆普,隆小华. 2种盐土改良剂对苏北滨海盐碱土壤盐分及植物生长的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(2): 127-153 .
- [12] Gonzalez J L. Beet vinasse applied to wheat under dryland conditions affects soil properties and yield[J]. E-uropean Journal of Agronomy, 2005(23): 336 - 347 .
- [13] Tripathi S, Chakraborty A, Chakrabarti K, et al. Enzymatic activities and microbial biomass in coastal soils of India[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007(39): 2840 - 2848 .
- [14] 王天平,周连仁. 不同改良措施对盐渍化土盐分和酶活性的影响[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(5): 91-94 .
- [15] 曲长风,杨劲松,姚荣江,等. 不同改良剂对苏北滩涂盐碱土壤改良效果研究[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(3): 21-25 .

(责任编辑:王 昱)