

降碱抑盐改良剂对重度盐化碱土的改良效果

秦 萍^{1,2}, 张俊华^{1,2}, 孙兆军^{1,2}, 贾萍萍³

(1. 宁夏大学环境工程研究院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏旱区资源评价与环境调控重点实验室, 宁夏 银川 750021;
3. 宁夏大学资源环境学院, 宁夏 银川 750021)

摘 要:以宁夏银北重度盐化碱土为研究对象,连续 4 a 监测脱硫石膏、糠醛渣、醋糟和菌肥单独或配合施用对土壤 pH 值、全盐和其他理化性状的改良效果及对水稻生长指标的影响。结果表明:(1)改良 4 年间 T2(单施脱硫石膏)或各改良剂配合施用的处理(T3~T6)在 0~20 cm 土层 pH 值比 T1(CK,不施用改良剂)降低,其中 T5(脱硫石膏+糠醛渣+醋糟+菌肥)相对降幅最大,T6(脱硫石膏+菌肥)降幅最小,T3(脱硫石膏+糠醛渣+菌肥)和 T4(脱硫石膏+醋糟+菌肥)差异较小;土壤碱化度和电导率变化趋势与 pH 值相似,但降幅明显大于 pH 值降幅。(2)4 年间 T2~T6 处理表层土壤有机质含量比 T1 分别平均增加了 1.30、3.97、4.03、5.16 g·kg⁻¹和 2.15 g·kg⁻¹;不同处理土壤速效养分含量的变化趋势与有机质相似,但增幅均大于有机质。(3)4 年间 T2 处理水稻保苗率显著高于 T1,但普遍低于改良剂配合施用的处理,T5 保苗率最高,T4 保苗率略优于 T3;改良剂配合施用对株高提升效果不及保苗率明显;各改良剂均能提高作物穗长、每穗粒数和结实率,降低空秕数;T2~T6 处理 4 年产量平均值分别比对照增加 77.92%、118.48%、128.93%、158.10%和 102.13%,T4 纯收入最高,其次为 T5。整体来讲,施用脱硫石膏+糠醛渣+醋糟可以显著降低土壤 pH 值、碱化度和 EC、提高土壤有机质和养分含量,实现土壤降碱抑盐、作物增产增收的目的。

关键词:盐化碱土;改良剂;降碱抑盐;土壤理化性状;产量

中图分类号:S156.4 **文献标志码:**A

Effect of alkali reducing and salt inhibiting amendments on saline-alkali soil

QIN Ping^{1,2}, ZHANG Jun-hua^{1,2}, SUN Zhao-jun^{1,2}, JIA Ping-ping³

(1. Institute of Environmental Engineering, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;
2. Ningxia Key Laboratory of Resource Assessment and Environment Regulation in Arid Region,
Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;
3. College of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: Saline and alkaline soils are usually observed in arid and semi-arid regions as well as in areas with poor drainage. Severe saline-alkali soil in the north of Yinchuan in Ningxia selected as the study object. Changes in soil pH, total salinity, physiochemical properties of severe saline-alkali soil, effect of growth parameters of rice after the application of flue gas desulfurization, furfural residue, vinegar residue, and bacterial manure were studied for four consecutive years. The results showed that: (1) Soil pH value of T2 (single application of flue gas desulphurization gypsum) and T3–T6 (combined application of amendments) in 0~20 cm layer significantly decreased than that of T1 (check), and the decreasing amplitude of T5 (flue gas desulfurization + furfural residue + vinegar residue + bacterial manure) was the biggest; T6 (flue gas desulfurization + bacterial manure) decreased the pH least; the pH difference of T3 (flue gas desulfurization + furfural residue + bacterial manure) and T4 (flue gas desulfurization + vinegar residue + bacterial manure) were small. The variation tendency of ESP (exchangeable sodium percentage) and EC (electric conductivity) were in the same trend as the pH, and their decrease was great.

ter than pH. (2) The organic matter in treatments of T2~T6 increased by 1.30, 3.97, 4.03, 5.16 g · kg⁻¹ and 2.15 g · kg⁻¹ over that with T1's. The variation tendencies of alkali-hydrolyzable, available P, and available K were similar to the organic matter in four years, but the increasing amplitudes were bigger than organic matter. (3) Seedling preservation rate of T2 was higher than that with T1, but lower than the treatments of combined a-mendments. Seedling preservation rate of T5 reached the highest, and seedling preservation rate of T4 was slightly higher than that with T3's. Lifting effect on plant heights were less than seedling preservation rates with combined amendments. Every amendment increased the spike length, number of grain per spike, setting percentage and decreased the empty chaff number of rice. The average yields of T2~T6 increased by 77.92%, 118.48%, 128.93%, 158.10%, and 102.13% than that with T1's in four years. The net income of T4 was the highest among treatments followed by T5. On the whole, flue gas desulfurization + furfural residue + vinegar residue + bacterial manure decreased pH, ESP, EC of soil, increased the organic matter and nutrients, and achieved a significant increase in crop yield and income.

Keywords: saline alkali soil; soil amendment; reducing alkali and inhibiting salt; physiochemical proprieties; yield

土壤盐渍化通常发生在干旱、半干旱、排水困难地区^[1]。盐渍化土壤由于其高 pH 值、高含盐量、肥力低下而严重影响植被生长^[2]。采取有效措施改良盐渍化土壤,提高土壤质量是一项长期工作^[1]。王文杰等^[3]以聚马来酸酐和聚丙烯酸两种高分子聚合物配合木焦油、木醋液等为降、阻盐碱剂,对重度盐碱地进行改良收到良好效果。孙在金等^[4]在黄河三角洲滨海盐碱土壤改良中,在保证灌溉量的基础上采用脱硫石膏与腐植酸配施可达到良好的盐碱地改良效果。张涛^[5]得出磷石膏可以降低盐渍化土壤的 pH 值和电导率,能够增加作物 Ca 和 Na 含量,降低其 K 含量。张丹等^[6]研究发现文冠果果壳、古龙酸母液、截短侧耳素发酵废水能够显著降低土壤 pH 值、碱化度、可溶性盐含量,显著提高土壤养分含量。董伟等^[7]通过磺化、接枝共聚等化学改性技术合成的钙盐(其中硫磺 17%,腐殖酸 50%,含钙物质 33%)也可以达到改良盐渍化土壤的效果。此外,石膏、生物炭、无水钾镁矾、硫磺、堆肥、铝土矿、厩肥、沸石、膨润土、方解石、醋糟、沼气渣等都能够降低盐渍化土壤 pH 值、EC,增加土壤有机质和养分含量^[8-15]。打孔灌沙、喷灌淋洗等也是土壤脱盐的有效工程措施^[16-17]。

宁夏银北地区分布有大面积盐渍化土壤,土壤 pH 值和碱化度高,含盐量为 1.73~20.61 g · kg⁻¹,土

体中 Na⁺、Cl⁻、HCO₃⁻ 含量较高,同时肥力低下,但土层深厚,具有很大的利用潜力^[18]。本文研究了 3 种调节酸碱度改良剂(脱硫石膏、糠醛渣和醋糟)改良盐渍土后土壤 pH 值、碱化度、EC、有机质、养分等理化性状以及水稻生长指标的变化情况,筛选出调节土壤酸碱度的最佳改良剂配方,以期提高当地耕地质量、增加耕地面积、改善生态环境,并为同类型地区的土壤改良提供科学依据和有效技术措施。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验设在宁夏银北西大滩,位于宁夏贺兰山东麓洪积扇边缘,属于黄河中上游灌溉地区(106°24'E,38°50'N),该地区属干旱的暖温带季风气候。年平均降水量为 205 mm,年蒸发量 1 875 mm。一般地下水埋深 1.5 m 左右。供试土壤为重度碱化盐土,土壤基本理化性状见表 1 和表 2。

1.2 研究方案

试验共设置 6 个处理,其中处理 1:CK(不施用脱硫石膏和改良剂);处理 2:脱硫石膏;处理 3:脱硫石膏+糠醛渣+菌肥;处理 4:脱硫石膏+醋糟+菌肥;处理 5:脱硫石膏+糠醛渣+醋糟+菌肥;处理 6:脱硫石膏+菌肥。3 种改良剂的基本性质见表 3。

表 1 试验地土壤基本理化性状背景值
Table 1 Soil properties of the experiment field

土层 Soil layer /cm	pH 值 pH value (1:5)	碱化度 ESP/%	EC /(μS · cm ⁻¹)	有机质 Organic matter /(g · kg ⁻¹)	碱解氮 Alkali-hydrolyzable N /(mg · kg ⁻¹)	速效磷 Available P /(mg · kg ⁻¹)	速效钾 Available K /(mg · kg ⁻¹)
0~20	9.17	38.76	1972	7.15	27.06	6.70	172.90
20~40	9.35	40.77	1059	3.48	28.19	5.50	146.28
40~60	9.42	43.14	860	6.47	21.38	5.29	135.61

表 2 试验地土壤盐分离子含量

Table 2 The content of salt ions of experiment field

土层/cm	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
Soil layer	/(mg·kg ⁻¹)	/(mg·kg ⁻¹)	/(mg·kg ⁻¹)	/(mg·kg ⁻¹)	/(mg·kg ⁻¹)	/(mg·kg ⁻¹)	/(mg·kg ⁻¹)	/(mg·kg ⁻¹)
0~20	0	2226	14921	136	1676	1090	265	16711
20~40	0	1521	9534	577	1492	2098	971	16582
40~60	0	175	10300	490	1077	791	275	15688

表 3 改良剂原料基本性质

Table 3 Basic properties of raw materials of soil amendments

原料 Material	pH 值 pH value	有机质/(g·kg ⁻¹) Organic matter	氮/(g·kg ⁻¹) Nitrogen	磷/(g·kg ⁻¹) Phosphorus	钾/(g·kg ⁻¹) Potassium
脱硫石膏 Flue gas desulfurization	5.12	8.58	0.15	0.08	0.73
糠醛渣 Furfural residue	2.25	523.55	4.92	6.94	7.83
醋糟 Vinegar residue	2.68	704.88	22.00	26.57	9.75

小区面积为 5 m×8 m(40 m²),各小区之间间隔 0.5 m。试验采用随机区组排列,4 次重复,共 24 个小区。小区之间打埂,高 30 cm,宽 50 cm。改良剂施用量:脱硫石膏 30 t·hm⁻²,糠醛渣 15 t·hm⁻²,醋糟 15 t·hm⁻²,菌肥 150 kg·hm⁻²。菌肥为市场购买的普通菌肥。

2013 年种植前施基肥:有机肥 30 t·hm⁻²,N-P₂O₅-K₂O 为 13-7-2。有机肥与改良剂结合整地施用,全部磷肥、钾肥和 60%氮肥在撒播前施用,40%氮肥分别在苗期、分蘖期和孕穗期追施。对照处理除不施用脱硫石膏和改良剂外,肥料施用与管理措施均与其他处理完全相同。2014 年和 2015 年没有施用任何基肥、改良剂,出苗稳定后追肥 2 次;2016 年播种前施用基肥和 2013 年量相同,但未施用改良剂。水稻于每年 5 月 10 日前后均匀撒播,每年收获时用小型收割机按小区收获,实测小区产量。品种为吉特 605,播种量为 300 kg·hm⁻²。

1.3 测定指标

在水稻撒播前采集基础土壤样品(土层分别为 0~20、20~40、40~60 cm),水稻收获后在每个小区采集不同层次土壤样品,每层采集 5 个土样混匀后作为该层土样,风干后过筛进行理化性状的测定。pH 值—酸度计法,EC—电导率仪,分盐—EDTA 络合滴定法等;有机质—外加热法,碱解氮—碱解扩散法,有效磷—Oslen 法,速效钾—火焰光度计法^[19]。分别于 2013 年 6 月 20 日、2014 年 6 月 22 日、2015 年 6 月 22 日和 2016 年 6 月 21 日进行各小区水稻保苗率的调查;于 2013 年 7 月 30 日、2014 年 8 月 4 日、2015 年 8 月 13 日和 2016 年 8 月 10 日测定各小区水稻株高。

1.4 数据分析

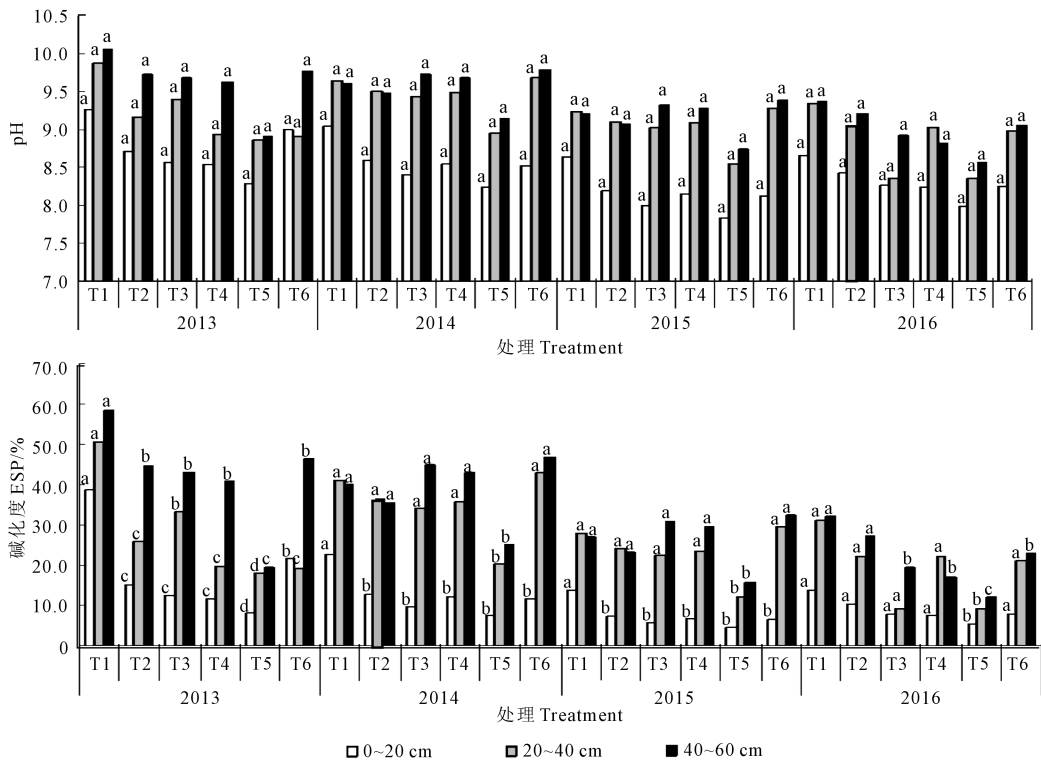
测定数据采用 SAS 软件进行差异性显著分析。

2 结果与分析

2.1 不同改良剂对土壤盐碱指标的影响

改良 4 年间第 1 年各处理 0~20 cm 土层 pH 值就比对照降低,但降幅均未达显著水平,其中 T5 相对降幅最大,T6 最小,T3 与 T4 基本持平;第四年表层 pH 值较第三年略有上升。土壤 ESP 变化趋势与 pH 值相似,但降幅明显大于 pH 值降幅。经过 4 年改良,T3~T5 中 0~60 cm 土层土壤 pH 值平均降低 0.54~1.46,该土层 ESP 较初始值平均降低 16.87%~32.60%;除了对照外,其他处理 0~20 cm 土层 pH 值均小于 8.5,ESP 小于 10%,达到轻度碱化土壤水平。本研究所选用的主要改良剂原料为酸性物质,可以在一定程度上中和土壤碱度,降低钠对钙镁离子的比值,并能活化 CaCO₃中的 Ca²⁺离子,使其与碱化土壤胶体吸附的钠进行交换^[20],通过排水将交换出的盐碱成分排走,从而降低土壤交换性 Na⁺的含量,降低土壤 pH 值和碱化度。T5 中糠醛渣和醋糟 2 种酸性改良剂都有,故改良效果优于其他处理,而 T6 中只有脱硫石膏和菌肥,原料呈弱酸性,对土体中 Na⁺的代换有限,故 pH 值和 EC 与对照差异较小。

改良第 1 年,各处理 0~20 cm 土层 EC 高于 20~40 cm 土层(图 2),施用改良剂后 EC 均有不同程度的降低,其中 T5 EC 最低,只施用脱硫石膏的处理 T2 降幅最小,T6 土壤 EC 略低于 T2。改良第 2 年和第 3 年各土层各处理 EC 不断降低,其中第 3 年 T5 只有 200 μS·cm⁻¹左右,第 4 年土体 EC 整体比第 3 年有所升高,但低于第 2 年水平。4 年间 0~60 cm 土体 T2~T6 分别比 T1 降低 19.26%、27.70%、25.08%、38.92%和 22.95%。“盐随水来,盐随水去”,种稻本身就是洗盐的有效措施^[21];此外,施用脱硫石膏、糠醛渣等改良剂会降低土壤容重,增



注: 相同年份相同土层不同字母表示差异显著($P<0.05$), 下同。
Note: Different letters at same layer in same year represent significant difference $P<0.05$, the same below.

图 1 不同处理下土壤 pH 值和碱化度的变化
Fig.1 Variation of soil pH values and ESP in different treatments

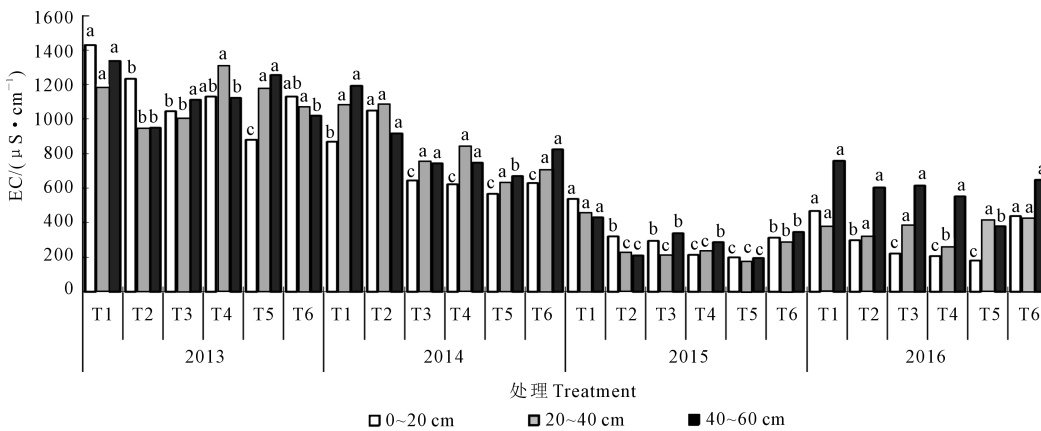


图 2 不同处理下 EC 的变化
Fig.2 Variation of soil EC under different treatments

加土壤孔隙度,改善土壤结构,增加土壤渗透速度^[18],使洗出的盐分尽快排出,也会起到降低土壤 EC 的作用。改良前三年各改良剂改良效果明显,到第 4 年各原料已基本消耗殆尽,所以土体 EC 开始上升,故文中改良剂施用有效期限为 3~4 a。

2.2 不同改良剂对土壤有机质和速效养分的影响

各处理 0~20 cm 土层土壤有机质显著高于 20

~60 cm 土层(图 3)。施用改良剂均可以使土壤有机质含量增加,其中 T5 增幅最大,T3 略低于 T4,T6 和 T2 增量相近。除了 T5 外,其他 5 个处理 20~60 cm 土层有机质基本持平。4 年间 0~20 cm 土层 T2~T6 有机质分别比 T1 增加了 1.30、3.97、4.03、5.16 g · kg⁻¹ 和 2.15 g · kg⁻¹。不同处理土壤速效养分含量的变化趋势与有机质相似,但增幅大于有机质增

幅,T5 碱解氮、速效钾增幅最大,其次为 T4;施用醋糟对土壤速效磷的增幅大于糠醛渣 T3 的增幅。4 年间 0~20 cm 土层 T2~T6 碱解氮分别比 T1 增加了 16.16%、52.21%、74.45%、118.15%和 34.32%;0~20 cm 土层 T2~T6 速效磷分别比 T1 增加了 11.18%、41.48%、31.71%、70.53%和 28.86%;0~20 cm 土层 T2~T6 速效钾分别比 T1 增加了 5.47%、21.33%、21.74%、23.97%和 13.29%。由于第 3 年仍然没有施用基肥,追肥时追施了硫酸铵和少量过磷酸钙,所以土壤速效钾和速效磷含量低于第 2 年;第

3 年冬灌前施用量有机肥(30 t · hm⁻²),第 4 年播种前底肥与第 1 年相同,所以第 4 年有机质和养分含量均较第 3 年有不同程度的增加。醋糟和糠醛渣有机质含量分别高达 704.88、523.88 g · kg⁻¹,所以施用后土壤有机质有明显的提升,醋糟中还含有大量养分,故施用醋糟的处理土壤氮、磷、钾含量也较高。大量研究指出,糠醛渣和醋糟中含有大量腐殖酸,能够同时增加土壤有机质和养分含量,从而改善土壤的理化性状^[22-23]。

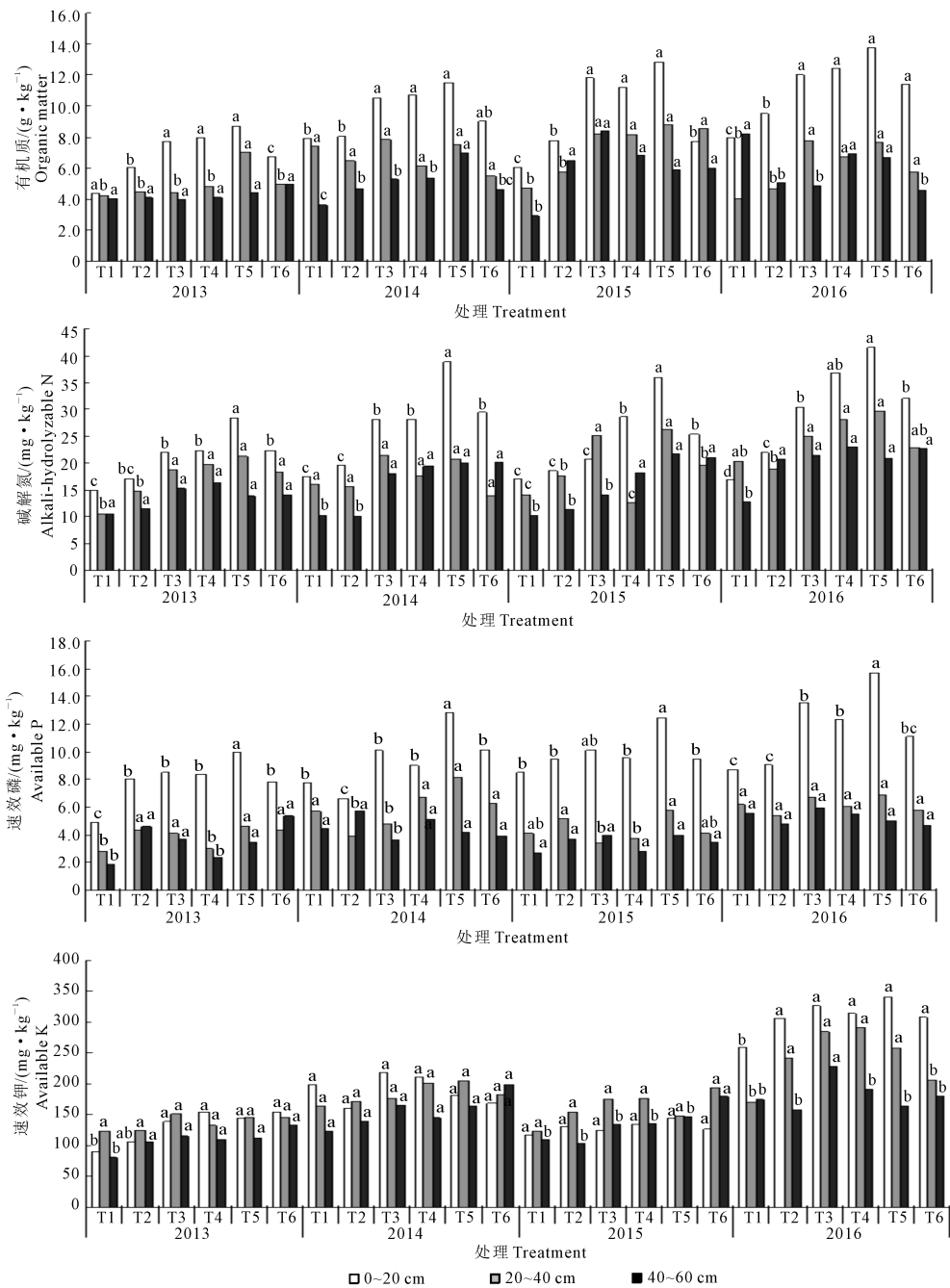


图 3 不同处理土壤养分含量的变化
Fig.3 Variation of soil nutrients contents in different treatments

2.3 不同改良剂对水稻保苗率和株高的影响

从不同年限保苗情况来看(表 4),不同处理水稻保苗率有较大差异,在 2013 年和 2014 年试验期间,水稻出苗后的大概 1 个月中,T1 出苗率大约为 35%,然后秧苗逐渐变黄至最后枯萎,到 6 月下旬保苗率低于 5%,保苗率最低,与其他处理呈极显著差异;经过 2 年的灌水洗盐、种稻,到 2015 年和 2016 年对照保苗率有显著提高,分别达到 39.3% 和 49.2%,但都低于单施脱硫石膏和改良剂配合施用的处理,且均呈极显著差异。4 年试验中 T2 保苗率显著高于对照,但普遍低于改良剂配合施用的处理。T3 和 T4 在 4 年的试验中保苗情况均较高,说明脱硫石膏+糠醛渣(或醋糟)对水稻出苗及保苗的促进效果最佳,且效果稳定。整体来讲,T5 保苗率最高,T4 保苗率略优于 T3。

试验前 2 年单施脱硫石膏、施用脱硫石膏和改良剂配合施用的处理株高都显著高于对照,其中 T5 处理株高最高;2015 年和 2016 年对照 T1 的株高较前两年有显著提高,但仍显著低于施用脱硫石膏和改良剂的处理。4 年试验结果表明 T5 处理株高均

高于其他处理,T4 次之。可以看出,改良剂的施用对水稻保苗率的提高效果显著,但对株高提升效果不及保苗率明显。作物受盐碱胁迫主要致害因素是渗透胁迫、离子毒害和高 pH 值胁迫^[24],施用改良剂后土壤 Na⁺、pH 值和全盐含量下降,作物根系生长条件得到不同程度改善。此外,改良剂中大量的腐殖酸不仅能够增加土壤有机质和养分,满足作物吸收的需要,还可以减少土壤对磷的固定,能缓冲土壤溶液高浓度的危害^[25],促进作物生长发育。

2.4 不同改良剂对水稻产量指标的影响

T1 穗长普遍较短(表 5),其次为 T2,其它 4 个处理穗长基本相同。在试验的 4 年期间,各处理的穗长普遍随着改良年限的延长而增大,第二年增幅最大,后 2 a 增幅很小。每穗粒数 T5 处理相对较多,T1 处理最少,且与其他处理呈显著性差异。T1 处理空秕数最多,4 年平均达到每穗 16 粒,T5 和 T2 处理空秕数最少,T3 和 T4 差异不大。从结实率整体情况来看,随着改良年限的延长,各处理水稻结实率都逐渐增大,T1 和 T6 处理结实率偏低,其它 3 个处理结实率相近,4 年平均值接近 80%。

表 4 不同处理下水稻保苗率和株高

Table 4 Variation of seedling preservation rates and plant heights of rice in different treatments							
指标 Parameter	年度 Year	T1 (CK)	T2	T3	T4	T5	T6
保苗率/% Seedling preservation rate	2013	4.65±0.52c	56.0±5.20b	72.0±2.54a	78.0±1.68a	82.0±2.81a	75.0±2.66a
	2014	2.00±1.31c	48.25±1.84b	64.50±1.25ab	70.25±1.55a	78.33±1.66a	59.25±1.44b
	2015	39.3±12.97c	63.5±11.86b	75.5±6.06a	65.25±3.71b	80.75±3.04a	62.0±10.75b
	2016	49.2±8.60c	74.2±7.09ab	83.0±0.71a	85.0±4.06a	92.3±7.33a	69.5±7.32b
株高/cm Plant height	2013	40.0±3.9c	55.0±4.2b	67.0±3.2a	62.0±5.8a	75.0±4.6a	62.0±2.0a
	2014	48.0±5.5c	58.0±4.4b	69.0±2.1a	72.0±1.0a	88.0±1.3a	65.0±4.2a
	2015	53.6±8.5a	56.4±2.1a	62.7±2.0a	65.3±2.6a	67.3±2.2a	63.3±2.4a
	2016	60.1±5.9b	62.5±5.3b	70.0±4.5a	72.6±6.2a	84.5±3.2a	67.8±5.1ab

注:相同年份不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$),下同。
Note: Difference letters in same year represent significant difference ($P<0.05$), the same below.

表 5 不同处理水稻产量性状的变化

Table 5 Variation of yield traits of rice in different treatments								
处理	穗长 Spike length/cm				每穗粒数 Number of grain per spike			
Treatment	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016
T1 (CK)	7.6±0.7a	12.4±0.4a	13.0±0.6ab	13.0±1.0a	26.9±5.2b	56.6±4.8c	58.4±3.7b	61.5±3.5b
T2	8.3±1.4a	11.0±0.4a	12.2±0.4b	13.5±1.0a	30.5±4.2b	45.8±3.0c	59.9±3.4b	58.2±2.6b
T3	9.6±1.5a	12.1±0.5a	10.5±0.8ab	14.1±0.6a	60.2±3.6a	57.3±7.8c	61.4±5.5b	64.2±4.9ab
T4	9.8±0.9a	14.1±0.7a	13.6±0.5ab	13.9±0.9a	59.8±2.6a	52.6±4.9c	65.5±2.4b	70.2±1.5a
T5	10.2±1.0a	13.6±0.6a	13.4±0.3ab	14.6±0.3a	67.8±5.1a	87.0±6.5a	77.9±0.6a	68.1±2.7a
T6	10±1.0a	14.4±0.8a	14.7±0.4a	14.5±0.3a	62.9±2.9a	70.1±7.8b	69.0±6.8ab	72.1±4.6a
处理	空秕数 Empty chaff number				结实率 Setting percentage/%			
Treatment	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016
T1 (CK)	16.5±1.6b	21.4±2.7a	16.8±5.4a	12.3±2.6a	38.7±3.6c	62.2±10.3b	71.2±2.8c	80.0±2.6b
T2	13.4±3.5b	7.0±1.2c	4.5±0.4c	10.6±1.8ab	56.1±4.2b	88.3±1.8a	92.5±4.9a	81.8±1.6b
T3	20.3±2.6a	13.4±2.6b	9.4±2.6b	8.0±1.6b	67.7±1.6ab	84.1±3.3a	86.1±2.6ab	88.3±4.2a
T4	16.2±4.6b	7.0±0.5c	9.8±2.3b	7.0±0.7b	73.1±5.3a	68.5±3.7b	84.0±3.1b	89.1±2.8a
T5	18.9±2.8a	2.4±0.5d	7.3±2.2bc	6.2±1.5b	72.2±4.2a	88.7±7.6a	88.9±5.6ab	91.5±3.6a
T6	23.6±1.6ab	6.5±0.9c	16.2±9.7a	15.2±2.8a	60.5±3.5b	68.1±8.8b	79.5±7.6b	78.9±5.1b

水稻产量是表征水稻长势的最直接指标。虽然各个处理播种前耕作措施和播种后水肥管理完全相同,但不同处理水稻产量高低不同(如图 4)。不同处理 2013 年产量从高到低的顺序为 T5 > T3 > T4 > T6 > T2 > T1,4 年后产量平均值顺序为 T5>T4 > T3 >T6 > T2 >T1。从 4 年的产量平均值来看,对照平均产量为 1 154 kg · hm⁻²,处理 T2~T6 分别较对照增产 77.92%、118.48%、128.93%、158.10%和 102.13%。本研究选用的改良剂活性基团多、并有较强的螯合力和亲合力,形成不溶性有机螯合物,对养分和微量元素的运转与吸收具有较强的生理功能及生物活性^[25],这些都可以促进作物生长发育,从而达到增产的目的。

2.5 不同改良剂处理经济效益分析

各处理除了施用改良剂不同外,平田整地、化肥、

有机肥、灌排措施等都完全相同,所以此处只计算改良剂的成本,其他成本忽略不计,以此计算各个处理的收入情况(见表 6)。虽然 T5 产量最高,但由于投入很大,4 年来收入却非最高,T4 纯收入最高,达到 26 933 元 · hm⁻²,其次为 T5,与 T4 无显著性差异,只施用脱硫石膏的处理 T2 纯收入也达到 25 135 元 · hm⁻²,显著高于对照 T1。从短期投入来看,施用脱硫石膏、糠醛渣、醋糟、菌肥的处理收入差异不大,但施用脱硫石膏+糠醛渣+菌肥的处理土壤基本理化性状明显优于其他处理,在保证产量的前提下后期投入将会明显减少。

3 结 论

- 1)改良 4 年间第 1 年各处理 0~20 cm 土层 pH 值就比对照降低,但降幅均未达显著水平,其中 T5 相对降幅最大,T6 最小。土壤 ESP 和 EC 变化趋势与 pH 值相似,但降幅明显大于 pH 值降幅。
- 2)施用改良剂可以使土壤有机质含量增加,其中 T5 增幅最大,T6 和 T2 增量相近。不同处理土壤速效养分含量的变化趋势与有机质相似,但增幅大于有机质增幅,T5 碱解氮、速效钾增幅最大,其次为 T4;醋糟对土壤速效磷的提升效果大于糠醛渣。
- 3)施用改良剂对水稻保苗率的提高效果显著,但对株高提升效果不及保苗率明显。施用改良剂可以增大水稻穗长、每穗粒数和结实率,降低空秕数;水稻产量显著提高,T2~T6 分别较对照 T1 增产 77.92%、118.48%、128.93%、158.10%和 102.13%。T4 纯收入最高,其次为 T5,T2 纯收入也显著高于 T1。

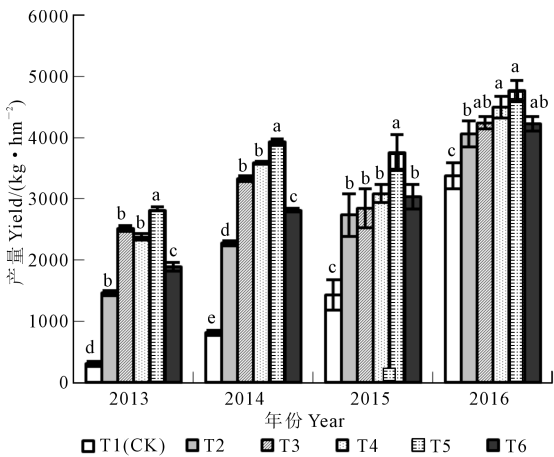


图 4 不同处理下水稻的产量

Fig.4 Variation of yield of rice in different treatments

表 6 不同处理下重度盐化碱土改良四年总产投情况

Table 6 Variation of total input and output of rice in different treatments

指标 Index	T1 (CK)	T2	T3	T4	T5	T6
投入/(元 · hm ⁻²) Input/(Yuan · hm ⁻²)	0e	1183d	7337b	6911b	11881a	4307c
产量 Yield/(kg · hm ⁻²)	5924c	10540b	12943a	13562a	15290a	11974ab
产量收入/(元 · hm ⁻²) Yield income/(Yuan · hm ⁻²)	14768c	26318b	32282b	33844b	38152a	29868b
收入/(元 · hm ⁻²) Income/(Yuan · hm ⁻²)	14768b	25135a	24993a	26933a	26271a	25608a

参 考 文 献:

[1] Asfaw E, Suryabagavan KV, Argaw M. Soil salinity modeling and mapping using remote sensing and GIS: The case of Wonji sugar cane irrigation farm, Ethiopia[J]. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 2018, 17(3): 250-258.

[2] Raghuwanshi R and Upadhyay R S. Performance of vesicular-arbuscular mycorrhizae in saline-alkali soil in relation to various a-amendments [J]. World Journal of Microbiology & Biotechnology, 2004, 20(1):1-5.

[3] 王文杰,贺海升,祖元刚,等. 施加改良剂对重度盐碱地盐碱动态及杨树生长的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(5): 2272-2278.

[4] 孙在金,黄占斌,陆兆华. 不同环境材料对黄河三角洲滨海盐碱化土壤的改良效应[J]. 水土保持学报, 2013, 27(4): 186-190.

[5] 张 涛,李素艳,孙向阳,等. 磷石膏、红糖等对蚯蚓改良滨海盐土的促进作用, 2017, 54(1):255-264.

[6] 张丹,王力华,孔 涛,等. 生物废弃物对滨海盐碱土改良效果[J]. 生态学杂志, 2013, 32(12): 3289-3296.

[7] 董伟,杜学军,王 栋,等. 新型改良剂对苏打碱土理化性质及水稻产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(1): 61-65.