

不同改良剂对滨海盐渍土盐碱指标及作物产量的影响研究^①

南江宽, 陈效民*, 王晓洋, 刘祖香, 李学林, 阿力木江

(南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

摘要: 针对江苏滨海盐渍土的特点, 采用 5 种土壤改良剂, 通过田间试验分析了不同处理土壤盐碱指标的变化状况, 并结合作物产量筛选出适宜的改良剂。结果表明: 禾康、康地宝、腐殖酸处理后, 土壤盐分含量、pH、总碱度和钠吸附比(SAR)较对照都有所降低, 其中腐殖酸处理降低量最多, 各指标分别为 0.53 g/kg、0.16、0.170 cmol/kg 和 2.61; 石膏处理后, 土壤盐分含量增加 0.16 g/kg, 但 pH、总碱度和钠吸附比与对照相比分别降低 0.08、0.09 cmol/kg、3.33; 金满田生物菌剂处理后土壤盐分、pH、总碱度和钠吸附比与对照相比差异不明显。改良剂处理后作物产量都有所提高, 其中腐殖酸处理较对照增加最多, 油菜和玉米分别增产 15.68% 和 9.15%。

关键词: 滨海盐渍土; 改良剂; 盐碱指标; 产量

中图分类号: S156.4+2

苏北平原地处黄海之滨, 土地面积为 $3.04 \times 10^4 \text{ km}^2$, 海岸线长 954 km, 其中 666 km 为淤积型海岸带, 占岸线全长的 70%, 沿海滩涂面积达到 $7.6 \times 10^3 \text{ km}^2$, 占全国海岸滩涂面积的 1/4 以上。目前滩涂仍在不断淤积, 全省年淤积面积达 13.3 km^2 , 是重要的后备土地资源^[1-3], 而在其改良和利用过程中, 普遍存在着农作物产量较低的问题。大量研究表明, 土壤含盐是影响作物产量的主要限制因素^[4], 并在脱盐过程中会出现土壤 pH 逐渐升高的现象^[5]。有学者指出, 盐碱土的改良需加入含钙物质来置换土壤胶体表面吸附的钠或采用加酸或酸性物质的方法改良^[6]。

本文针对苏北滨海盐渍土地地区的实际情况和滨海盐渍土的特点, 采用 5 种土壤盐碱改良剂, 通过田间试验, 分析不同改良剂处理后各盐碱指标的动态变化状况, 同时结合作物产量, 试图筛选出适宜于研究区的改良剂, 为合理利用滨海盐渍土的土地资源、改善研究区的生态环境提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于江苏省沿海地区农科所下属沿海农业科技示范园, 在盐城市东台、大丰交界处的东川垦区内。该区地处北亚热带北缘, 具有明显的海洋性季

风气候。气候温暖湿润, 日照充分、雨量充沛、四季分明, 年平均气温 14.6°C , 全年无霜期 213 天, 常年降水量 1 042 mm, 年平均蒸发量 1 417 mm, 年平均相对湿度为 81%。试验地土壤基本性质见表 1。

1.2 供试材料

试验采用 5 种土壤改良剂: 禾康盐碱土改良剂(北京飞鹰绿地科技发展有限公司开发研制); 康地宝盐碱土改良剂(中国农业大学研制); 金满田生物菌剂(山东德州阳光生物科技有限公司研制); 腐殖酸(安徽莱姆佳肥业有限公司生产); 石膏(为脱硫石膏, 主要成分为 CaSO_4)。

1.3 试验设计

将试验地块划分成长 6 m、宽 3 m、面积 18 m^2 的小区。6 个小区为一区组, 共 3 组, 小区间距 0.5 m, 组间过道宽 1 m, 四周保护行宽 2 m。

设对照、禾康、康地宝、金满田、腐殖酸和石膏 6 个处理, 每个处理完全随机排列, 3 次重复。

改良剂的施用: 在油菜移栽前将改良剂施入土壤。禾康盐碱土改良剂、康地宝盐碱土改良剂为液体, 每小区用量均为 40.5 ml, 兑水 20 L 稀释后均匀喷施; 腐殖酸和石膏为固体粉末, 可直接均匀撒施, 每小区用量 539.7 g; 金满田生物菌剂每小区用量 54 g。各种改良剂用法参照施用说明。

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(200903001)和江苏高校优势学科建设工程项目资助。

* 通讯作者(xmchen@njau.edu.cn)

作者简介: 南江宽(1986—), 男, 山西忻州人, 硕士研究生, 主要研究方向为水土资源利用与管理。E-mail: 2011103092@njau.edu.cn

表 1 供试土壤基本性质
Table 1 Basic properties of studied soils

土层 (cm)	土壤体积质量 (g/cm ³)	总孔隙度 (%)	盐分含量 (g/kg)	pH	总碱度 (cmol/kg)	质地(g/kg)		
						黏粒	粉粒	砂粒
0~20	1.32	50.08	2.2	8.23	0.60	111.1	262.7	626.2

作物种植：油菜品种为南盐油 1 号，采用先育苗后移栽的方法种植，移栽前每小区施无机肥 (15-15-15)405 g 作底肥，同时各小区按田间试验方案进行处理。移栽行距 50 cm，株距 25 cm。油菜收获后，在小区种植玉米，玉米采用点播的方式种植，点播前每小区施无机肥(15-15-15)405 g 作底肥，同时各小区按田间试验方案再次进行处理。玉米品种为苏玉 23，玉米行距为 80 cm，株距 30 cm。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 土样采集与测定 分别在改良剂施用前(11 月份)、施用后 2 个月(1 月份)、油菜苗期(3 月份)、油菜花期(4 月份)、油菜收获期(6 月份)、玉米苗期(7 月份)、玉米抽穗期(9 月份)、玉米收获期(10 月份)采集 0~20 cm 土样。

含盐量采用电导法测定^[7]；pH 采用酸度计法测定；水溶性 CO₃²⁻ 和 HCO₃⁻ 采用双指示剂-中和滴定法测定；水溶性 Na⁺ 采用火焰光度法测定；水溶性 Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 采用 EDTA 滴定法测定。

总碱度=[CO₃²⁺]+[HCO₃⁻] (1)

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{2+}]+[Mg^{2+}]}{2}}} \quad (2)$$

1.4.2 作物产量的测定 作物取样：每小区选 3 点，每一样点任选连续 10 株，称量株重、籽粒重。

油菜产量(kg/hm²)= 单株籽粒重(g)× 株数/ 1000 (3)

玉米产量(kg/hm²)= 单株籽粒重(g)× 株数/ 1000 (4)

1.5 数据统计

采用 Excel 和 SPSS16.0 统计软件对数据进行处理与分析。

2 结果与分析

2.1 不同改良剂对土壤盐碱指标的影响

2.1.1 不同改良剂对土壤盐分的影响 施用不同改良剂后试验区盐分含量动态变化如图 1 所示。由于试验区地下水埋深较浅，冬季表层土壤温度较低，在温度梯度的影响下，底层土壤中盐分随着水分逐渐向表层聚集^[8]，使得表层盐分含量在 1 月份有所上升。禾康、康地宝和腐殖酸处理土壤总盐分含量较对照明

显降低；金满田生物菌剂处理总盐分含量与对照相比变化不明显；而施用石膏后，Ca²⁺ 的增加导致土壤盐分含量较对照有一定升高。1—4 月份由于气温的缓慢回升、作物的生长，各处理盐分含量都缓慢降低。夏季气温升高，地表蒸发加强，同时随着作物的成熟、地表覆盖的减少，6 月份盐分含量开始增加。但到 7 月底，含盐量下降较大，一方面是改良剂的作用，另一方面是降雨的淋盐作用。9 月份各处理间盐分含量存在明显差异，含盐量从大到小依次为：石膏 > 金满田 > 对照 > 禾康 > 康地宝 > 腐殖酸，说明改良剂有降低土壤盐分的作用。盐渍土土体板结，养分贫瘠，加上盐碱因素，生物菌的活动受到抑制，所以施用金满田生物菌剂在降低盐渍土盐分方面效果不明显。石膏的主要成分为 CaSO₄^[9-10]，施用后提高了土壤中 Ca²⁺ 含量，使总盐分含量较对照有一定升高。但是 Ca²⁺ 可将土壤胶体吸附的 Na⁺ 交换下来，并通过淋洗将其排出土体，减轻 Na⁺ 对作物的危害，从而达到治碱改土的目的。所有改良剂处理以腐殖酸处理总盐分含量降低最多，在 2010 年油菜和玉米收获期，腐殖酸处理土壤总盐分含量较对照分别降低了 0.45 g/kg 和 0.53 g/kg。

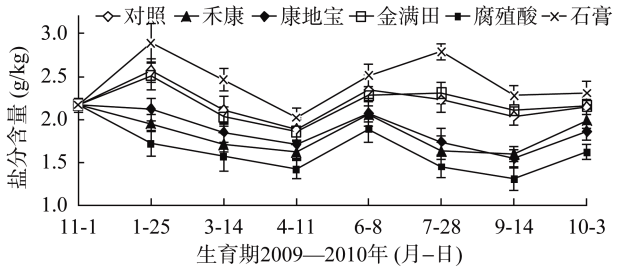


图 1 不同改良剂对土壤盐分含量的影响
Fig. 1 Effects of different soil amendments on soil salt content

2.1.2 不同改良剂对土壤 pH 的影响 经过不同处理，试验区土壤 pH 动态变化如图 2 所示。相关分析结果表明，对照处理各时期土壤盐分与 pH 呈极显著负相关($r=-0.957^{**}$, $n=24$)，即试验区 pH 在 8.0~8.5 范围内，随着土壤含盐量的下降而升高^[11]，此时土壤有碱化的趋势^[12-13]。禾康、康地宝均为高浓度的柠檬酸溶液，可通过酸碱中和作用使盐渍土 pH 降低^[14]，金满田生物菌剂靠提高土壤微生物活性改善土壤性质来降低土壤 pH，腐殖酸通过酸性基团中和土壤碱

性,石膏解离的 Ca^{2+} 与 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 形成碳酸盐和重碳酸盐来降低土壤 pH。从图 2 可以看出,禾康和康地宝处理较腐殖酸处理见效快,施用禾康和康地宝后土壤 pH 很快下降,但随后又开始升高;而腐殖酸的处理效果较禾康和康地宝持久,pH 降低后回升小;石膏处理后土壤 pH 较对照也有降低,金满田生物菌剂处理与对照相比降低最少。5 种改良剂在降低土壤 pH 的效果上以腐殖酸最好,其次为禾康、康地宝、石膏和金满田生物菌剂。腐殖酸处理后土壤的 pH 较对照在 2010 年玉米收获期降低了 0.16 个单位,禾康、康地宝和石膏处理后土壤 pH 较对照分别降低了 0.11、0.08 和 0.06 个单位。

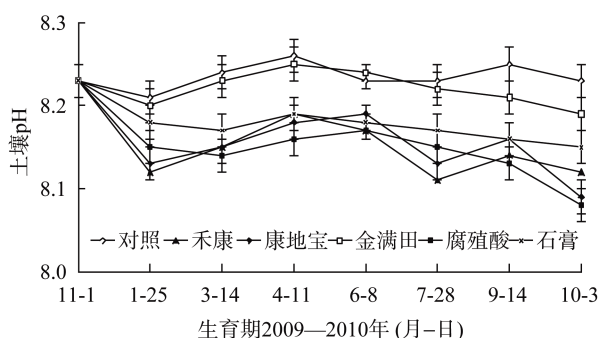


图 2 不同改良剂处理对土壤 pH 的影响
Fig. 2 Effects of different soil amendments on soil pH

2.1.3 不同改良剂对滨海盐渍土总碱度的影响 通过测定试验区土壤总碱度含量,确定了总碱度中碱性离子以 HCO_3^- 为主,而 CO_3^{2-} 含量较少,且 HCO_3^- 含量与盐分含量呈极显著负相关($r=-0.916^{**}$, $n=24$)。因此,在改良利用滨海盐渍土过程中,要注意脱盐过程中 HCO_3^- 对土壤性质的影响。从图 3 可以看出,在油菜和玉米的苗期,所有施用改良剂的处理土壤总碱度较对照都有了不同程度的降低,这说明所选用的改良剂在降低土壤总碱度方面都起到了一定作用,并且在油菜和玉米的苗期,所有施用改良剂处理的土壤总碱度由低到高均表现为:康地宝 < 禾康 < 腐殖酸 < 石膏 < 对照,说明酸性液体改良剂禾康和康地宝在降低土壤总碱度方面见效较快。在油菜苗期,禾康和康地宝处理土壤总碱度较对照分别降低了 0.200 cmol/kg 和 0.273 cmol/kg,在玉米苗期,禾康和康地宝处理土壤总碱度较对照分别降低了 0.264 cmol/kg 和 0.300 cmol/kg,苗期土壤碱性的降低可以为作物根系提供良好的生长环境。石膏施用后产生的 Ca^{2+} 能与土壤中的 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 形成碳酸盐和重碳酸盐沉淀,也降低了土壤总碱度。金满田生物菌剂处理在油菜生育期没有降低土壤总碱度,但在玉米季试验中,与对照相比土壤总碱度有所降低,原因可能是夏季气温较高,雨水较多,

为生物菌的存活提供了较适宜条件。

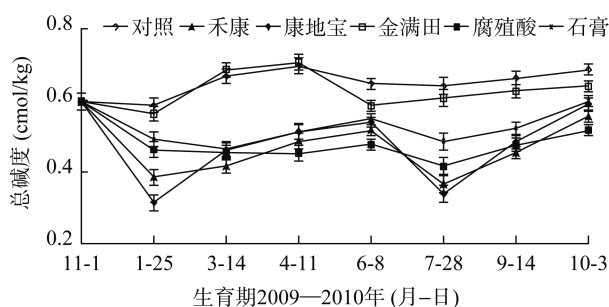


图 3 不同改良剂对滨海盐渍土总碱度的影响
Fig. 3 Effects of different soil amendments on soil total alkalinity

在油菜开花期,禾康和康地宝的效果逐渐减弱,总碱度又有所升高,在玉米抽穗期,也出现类似现象,这说明禾康和康地宝盐碱土改良剂虽然在降低土壤总碱度上见效快,但效果不持久。而腐殖酸处理后土壤总碱度降低后变化平稳,说明腐殖酸在土壤中起作用的时间较长,效果较稳定。且在油菜和玉米成熟收获期,腐殖酸处理后土壤总碱度均是最低的,分别较对照降低了 0.196 cmol/kg 和 0.170 cmol/kg,其次是禾康处理,土壤总碱度较对照分别降低了 0.130 cmol/kg 和 0.132 cmol/kg。

2.1.4 不同改良剂对滨海盐渍土钠吸附比(SAR)的影响 SAR 与土壤中交换性钠密切相关,因此是预测滨海盐土发育的一个重要指标^[15-16]。不同改良剂处理后各试验区土壤钠吸附比如图 4 所示。对照处理各时期土壤 SAR 值较高,在 9.08 ~ 11.60 范围内波动,变化不明显。在油菜季试验中,由于改良剂的施用,加上春季降雨对土壤盐分的淋洗作用,土壤中 Na^+ 含量迅速降低,所以在油菜开花期, SAR 呈下降趋势;油菜收获后,气温升高,地表蒸发加强, SAR 有一定升高,其中对照升高最多,其次是康地宝和禾康,而施用腐殖酸和石膏的处理 SAR 最小。在玉米季试验中,由于改良剂的施用降低了土壤中 Na^+ 的含量,所以在苗期改良剂处理后 SAR 呈降低的趋势,而到了玉米抽穗期和成熟期,所有处理小区 SAR 又逐渐升高,而施用石膏和腐殖酸处理后 SAR 升高较慢,这说明石膏和腐殖酸的施用对抑制 SAR 升高起到了显著的作用。在玉米收获期,各种改良剂处理 SAR 从大到小依次为:金满田 > 对照 > 禾康 > 康地宝 > 腐殖酸 > 石膏。油菜季和玉米季试验中,均以施用石膏后土壤 SAR 下降最多,主要原因为施用石膏后,使土壤中 Ca^{2+} 大量增加,在为土壤带来大量 Ca^{2+} 的同时, Ca^{2+} 还能置换出土壤胶体上吸附的 Na^+ ,使土壤中 Na^+ 随降水淋洗流失而减少,因此石膏处理后土

壤 SAR 降低最多,石膏处理土壤 SAR 较对照降低了 3.33 个单位。其次为腐殖酸处理,SAR 较对照下降了 2.61 个单位。土壤 SAR 的降低表征着施用改良剂后,试验区滨海盐渍土开始向有益的方向演化。

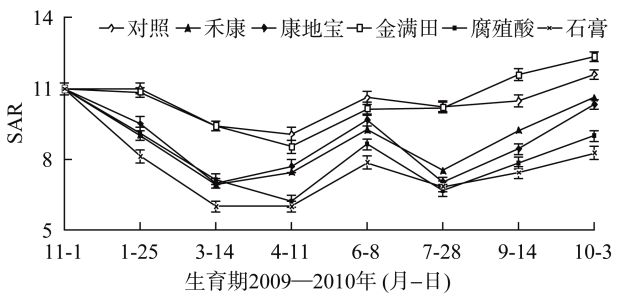


图 4 不同改良剂对滨海盐渍土钠吸附比的影响
Fig. 4 Effects of different soil amendments on soil SAR

2.2 不同改良剂对作物产量的影响

从表 2 可以看出,施用 5 种改良剂处理后,油菜

的产量都比对照高,这表明改良剂能为油菜的生长提供较适宜的土壤环境,保证了油菜的生长和产量的提高。其中,施用腐殖酸处理后的油菜产量最高,其次是禾康、康地宝、石膏、金满田和对照,这证明腐殖酸的增产效果最明显。从多重比较结果看,施用腐殖酸与禾康、康地宝、石膏、金满田、对照处理后油菜产量之间的差异均达到显著水平,分别比禾康、康地宝、石膏、金满田、对照增加 7.16%、7.63%、9.07%、14.30%、15.68%。不同改良剂处理玉米产量由高到低为:腐殖酸>石膏>康地宝>禾康>金满田>对照,以腐殖酸处理玉米产量最高,禾康、康地宝、金满田、腐殖酸和石膏 5 种改良剂处理后玉米产量较对照分别提高了 5.82%、6.58%、1.73%、9.15%、6.75%。因此,根据表 2 结果,施用腐殖酸对油菜和玉米产量的提高最有效。

表 2 不同改良剂处理对作物产量的影响(kg/hm²)
Table 2 Effects of different soil amendments on crop yield

作物	腐殖酸	禾康	康地宝	石膏	金满田	对照
油菜	3 427 ± 39.2 a	3 198 ± 20.1 b	3 184 ± 23.7 b	3 142 ± 30.5 b	2 998 ± 27.4 c	2 962 ± 24.3 c
玉米	7 922 ± 64.9 a	7 681 ± 71.3 b	7 736 ± 71.3 b	7 748 ± 70.7 b	7 384 ± 66.2 c	7 258 ± 60.7 c

注:同行数据小写字母不同表示处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平。

3 结论

(1) 不同改良剂处理后各盐碱指标的变化趋势不相同。通过分析 2010 年试验区土壤盐碱指标的动态变化,发现未经改良剂处理的小区随着含盐量的降低(脱盐过程),土壤 pH 和总碱度都有所升高,同时 SAR 较高(9.08~11.6)。经过禾康、康地宝、腐殖酸处理后,土壤盐分含量、pH、碱化度和 SAR 较对照都有所降低;石膏处理后土壤盐分含量增加,但 pH、总碱度和钠吸附比都降低;金满田生物菌剂处理后土壤盐分、pH、总碱度和 SAR 与对照相比变化不明显。

(2) 改良剂能提高作物的产量。施用改良剂的处理,作物的产量都高于对照,且施用不同改良剂的处理增产效果不同,腐殖酸效果最好,其次是禾康、康地宝、石膏和金满田。

(3) 腐殖酸是适宜于滨海盐渍土的最佳改良剂。施用腐殖酸处理后土壤含盐量、pH、碱化度和 SAR 降低最多,作物的产量最高,所以腐殖酸具有最佳的土壤改良利用效果,是适宜于滨海盐渍土的最佳改良剂。

参考文献:

[1] 李加林,张忍顺,王艳红,曾昭鹏. 江苏淤泥质海岸湿地景观格局与景观生态建设[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19(5): 86-90

[2] 沈永明,冯年华,周勤,刘咏梅,陈子玉. 江苏沿海滩涂围垦现状及其对环境的影响[J]. 海洋科学, 2006, 30(10): 39-43

[3] 陈洪全. 苏北沿海港口开发与可持续发展研究[J]. 海洋科学, 2000, 24(1): 52-54

[4] 马晨,马履一,刘太祥,左海军,张博,刘寅. 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

[5] 陈巍,陈邦本,沈其荣. 滨海盐土脱盐过程中 pH 变化及碱化问题研究[J]. 土壤学报, 2000, 37(4): 521-528

[6] 牛东玲,王启基. 盐碱地治理研究进展[J]. 土壤通报, 2002, 33(6): 449-455

[7] 中国土壤学会编. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000

[8] 张殿发,郑琦宏. 冻融条件下土壤中水盐运移规律模拟研究[J]. 地理科学进展, 2005, 24(4): 47-55

[9] Choudharya OP, Josana AS, Bajwaa MS, Kapur ML. Effect of sustained sodic and saline-sodic irrigation and application of gypsum and farmyard manure on yield and quality of sugarcane under semi-arid conditions[J]. Field Crops Research, 2004, 87(2/3): 103-116

- [10] 王晓洋, 陈效民, 李孝良, 刘祖香. 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
- [11] 胡纪常, 祝寿泉. 滨海盐渍土的碱化问题[J]. 土壤学报, 1981, 18(3): 282–288
- [12] 盛建东, 杨玉玲, 陈冰. 土壤总盐、pH 及总碱度空间变异特征研究[J]. 土壤, 2005, 37(1): 69–73
- [13] 吴之正, 顾卫, 许映军, 林叶彬, 卜丹阳. 渤海滨海重黏性盐渍土淋溶过程中的盐碱变化[J]. 资源科学, 2010, 32(3): 449–451
- [14] 刘祖香, 陈效民, 李孝良, 王晓洋, 陆佳俊, 李秋霞, 石雪源. 不同改良剂与石膏配施对滨海盐渍土离子组成的影响[J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(3): 83–88
- [15] 王金满, 杨培岭, 任树梅, 项光明. 烟气脱硫副产物改良碱性土壤过程中化学指标变化规律的研究[J]. 土壤学报, 2005, 42(1): 98–105
- [16] 刘兆普, 陈铭达, 刘玲, 邓力群, 赵耕毛, 王洪军, 王建华. 半干旱地区海水灌溉下滨海盐土盐分运动研究[J]. 土壤学报, 2004, 41(5): 824–826

Effects of Different Amendments on Salt Index of Coastal Saline Soil and Crop Yield

NAN Jiang-kuan, CHEN Xiao-min^{*}, WANG Xiao-yang, LIU Zu-xiang, LI Xue-lin, Alimujiang
(College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: According to the characteristics of coastal saline soil in Jiangsu Province, the changes of soil salt index were analyzed under the field experiments with five soil amendments. The best amendment to the coastal soil in study area was selected according to crop output. The results showed that soil salt content, pH, total alkalify and sodium adsorption ratio (SAR) decreased under the treatments of Hekang, Kangdibao and humic acid compared with CK, especially under the treatment of humic acid, the amounts decreased by 0.53 g/kg, 0.16, 0.170 cmol/kg and 2.61, respectively. Under the treatment of gypsum, soil salt content increased by 0.16 g/kg. However, compared with CK, pH, total alkalify and sodium adsorption ratio decreased by 0.08, 0.09 cmol/kg and 3.33, respectively. There were no significant differences under the treatment of Jinmantian biological bacterium agent. The application of the amendments could increase crop yield compared with CK, especially when humic acid was used, the yields of rape and corn increased by 15.68% and 9.15% respectively.

Key words: Coastal saline soil, Amendment, Soil salt index, Yield