

淤泥质滨海重盐土低成本快速脱盐技术研究

刘雅辉, 王秀萍, 李 强, 张国新, 鲁雪林

(河北省农林科学院 滨海农业研究所, 河北 曹妃甸 063200)

摘 要:以泥质滨海重盐土低成本、快速脱盐为目标,通过室内土柱法,探讨了模拟滴灌条件下,滴灌量和不同土壤改良剂配比对滨海重盐土耕作层的脱盐效果,采用 $L_{16}(4^5)$ 正交试验设计分析不同土壤改良剂对土壤脱盐效果的影响,优选泥质滨海重盐土脱盐改良剂。结果表明:通过滴灌量与土壤改良剂配比双重作用对滨海重盐土全盐含量和 pH 值的影响,确定了以 $0.26 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 滴灌量进行滴灌,脱盐率达 78.73%,可以达到快速脱盐的目的。根据正交设计极差分析,5 种改良剂对土壤全盐含量的影响顺序依次为磷石膏>腐植酸>有机肥> ZnSO_4 >秸秆,对土壤 pH 值的影响顺序为磷石膏>腐植酸> ZnSO_4 >秸秆>有机肥,最终选出滨海重盐土脱盐改良剂最优配比为 $A_1 B_1 C_2 D_2 E_4$,即秸秆 $0.05 \text{ m}^3/\text{m}^2$ +磷石膏 $3 \text{ kg}/\text{m}^2$ +有机肥 $0.1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ +腐植酸 $0.06 \text{ kg}/\text{m}^2$ + ZnSO_4 $0.12 \text{ kg}/\text{m}^2$ 。

关键词:滨海重盐土; 脱盐技术; 土柱; 滴灌; 改良剂

中图分类号: S156.4⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)01-0168-04

Study on Rapid Desalting of Muddy Coastal Heavy Solonchack with Low Cost

LIU Yahui, WANG Xiuping, LI Qiang, ZHANG Guoxin, LU Xuelin

(Coastal Agricultural Research Institute, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Caofeidian, Hebei 063200, China)

Abstract: The desalting effect of drip irrigation amount and soil amendments ratio on the coastal saline soil were discussed under the condition of simulating drip irrigation through soil column for the purpose of quick desalination of coastal heavy solonchack with low cost. The influence of soil amendments on soil infiltration and desalting effect were analyzed by orthogonal experiments design, and desalination modifier of muddy coastal heavy solonchack was screened. The results suggest that the irrigation amount of $0.26 \text{ m}^3/\text{m}^2$ is the best drip irrigation schedule, the desalination rate is over 78.73%, which can achieve rapid desalting. According to the analysis of orthogonal design, the sequence of the influences of 5 kinds of modifiers on soil total salt is phosphogypsum>humic acid>organic matter> ZnSO_4 >straw, sequence of influence on soil pH value is phosphogypsum>humic acid> ZnSO_4 > straw>organic matter. Finally, the best proportion of soil amendments of muddy coastal heavy solonchack is $A_1 B_1 C_2 D_2 E_4$, which is $0.05 \text{ m}^3/\text{m}^2$ straw, $3 \text{ kg}/\text{m}^2$ phosphogypsum, $0.05 \text{ m}^3/\text{m}^2$ organic fertilizer, $0.03 \text{ kg}/\text{m}^2$ humic acid + $0.03 \text{ kg}/\text{m}^2 \text{ZnSO}_4$.

Keywords: coastal heavy solonchack; desalination technology; soil column; drip irrigation; amendment

滨海盐碱土是重要后备资源,同时也是沿海生态问题,是沿海植被修复和植被构建的最大障碍。对滨海重盐土改良利用问题,国内外学者做了大量研究,主要包括盐渍土发生机制、水盐动态变化规律,土壤改良剂筛选等方面的研究^[1-6],并取得较好成果。但以上研究大多是对有结构、全盐含量 1.2% 以下的盐碱土进行研究与利用,对无结构、土壤全盐含量 2.0% 以上的滨海重盐土的改良与利用研究,尚不多见,尤其对颗粒组成及其细腻的粉砂质滨海重盐土,更是稀少。粉砂质滨海重盐土,由于盐分含量高,黏土含量

更高,一般为 48.5% 以上,粉砂含量更低,一般为 30% 左右^[7],土质地细腻,土壤渗透系数低,导致降雨径流损失高,淋溶脱盐效率低,植被覆盖率极低,仅有稀疏耐盐野生植被黄须存在,光板地大于 80%,是土壤类型中,含盐最高、土壤改良极其困难的土壤类型。本研究针对滨海区淡水资源短缺、滨海粉砂质黏土淋洗脱盐效率低的问题,采用室内模拟滴灌脱盐技术,开展不同滴灌量淋溶条件下,不同配比的土壤改良剂对粉砂质滨海重盐土的脱盐效果研究。室内淋洗试验减少了许多自然及人为因素的干扰,试验结果较能

收稿日期: 2013-12-20

修回日期: 2014-05-15

资助项目: 河北省国土资源厅项目“河北滨海中重度盐碱地土地整治潜力与关键技术研究”(2014055616)

第一作者: 刘雅辉(1979—),女,河北唐山人,硕士,助理研究员,从事盐碱地改良及耐盐旱作研究。E-mail: bhslyh@126.com

通信作者: 王秀萍(1966—),女,河北藁城人,研究员,从事生盐碱地治理与态修复研究。E-mail: bhsxwp@163.com

准确地体现脱盐过程中盐碱性状的变化,为滨海重盐土节本型治理技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试重盐土取自河北省唐山市曹妃甸生态城植被修复区。地处北纬 39°12′01.17″—39°12′14.04″,东经 118°32′55.52″—118°33′05.34″,属于粉砂质黏土型滨海盐土,土壤全盐含量 3.15%,pH 值 8.05,容重 1.47 g/cm³,渗透系数 0.053 9 mm/min,盐分组成以 NaCl 为主,取土区域为光板地。采集 0—30 cm 土层混合样,风干、碾压后过 20 目筛备用。

1.2 土壤改良剂

营养型土壤改良剂由玉米秸秆(A)、磷石膏(B)、有机肥(C)、高活性腐植酸(E)和硫酸锌(F)按一定比例配置而成。玉米秸秆:1.0~2.0 cm 的短节;磷石膏:工业废料,主要成分 CaSO₄;高活性腐植酸:内蒙古西蒙科工贸集团生产,有机质干基≥56%,腐植酸

干基≥38%;牛粪:腐熟牛粪,有机质≥56%;硫酸锌:工业用硫酸锌。

1.3 试验设计与方法

试验于 2013 年 3 月在河北省农科院滨海农业研究所实验室进行。采用土柱模拟滴灌淋洗法,试验土柱用 1 mm 厚的有机玻璃制作,截面内径 14 cm,高 100 cm,土柱侧面底部装有排水细管,底部铺设 5 cm 厚的石子作为反滤层。取 30 cm 土柱厚的土样约 56 kg 与一定配比的土壤改良剂混合后,装入土柱。

土壤淋溶采用可调控模拟滴灌法,滴水速度 0.5 L/h。淋溶分 6 次进行,每次滴量为 1 L,从有水淋出开始取土样,之后每淋溶 1 L 取土一次,共取土 4 次,测定土壤盐分、pH 值。4 次取土滴灌量分别用 W₁, W₂, W₃, W₄ 表示,滴灌水量分别为 0.2 m³/m², 0.26 m³/m², 0.33 m³/m², 0.39 m³/m²。

土壤改良剂配比处理采用 L₁₆(4⁵)正交设计,设 5 个因子(A,B,C,D,E),4 个水平(1,2,3,4),共 16 个处理,试验方案见表 1。

表 1 试验方案

处理编号	A 秸秆/(m ³ ·m ⁻²)	B 磷石膏/(kg·m ⁻²)	C 有机肥/(m ³ ·m ⁻²)	D 腐植酸/(kg·m ⁻²)	E 硫酸锌/(kg·m ⁻²)
T1	1(0.05)	1(3)	1(0.05)	1(0.03)	1(0.03)
T2	1(0.05)	2(6)	2(0.10)	2(0.06)	2(0.06)
T3	1(0.05)	3(9)	3(0.15)	3(0.09)	3(0.09)
T4	1(0.05)	4(12)	4(0.20)	4(0.12)	4(0.12)
T5	2(0.10)	1(3)	2(0.10)	3(0.09)	4(0.12)
T6	2(0.10)	2(6)	1(0.05)	4(0.12)	3(0.09)
T7	2(0.10)	3(9)	4(0.20)	1(0.03)	2(0.06)
T8	2(0.10)	4(12)	3(0.15)	2(0.06)	1(0.03)
T9	3(0.15)	1(3)	3(0.15)	4(0.12)	2(0.06)
T10	3(0.15)	2(6)	4(0.20)	3(0.09)	1(0.03)
T11	3(0.15)	3(9)	1(0.05)	2(0.06)	4(0.12)
T12	3(0.15)	4(12)	2(0.10)	1(0.03)	3(0.09)
T13	4(0.20)	1(3)	4(0.20)	2(0.06)	3(0.09)
T14	4(0.20)	2(6)	3(0.15)	1(0.03)	4(0.12)
T15	4(0.20)	3(9)	2(0.10)	4(0.12)	1(0.03)
T16	4(0.20)	4(12)	1(0.05)	3(0.09)	2(0.06)

1.4 测定方法

土壤酸碱度(pH)测定采用 pH 酸度计法;土壤全盐含量测定采用电导率法(水土比为 5:1)。

1.5 数据分析

数据采用 Excel 2003 和 DPS 数据处理系统进行统计、分析。

2 结果与分析

2.1 滴灌量对滨海重盐土脱盐的影响

2.1.1 滴灌量对滨海重盐土全盐含量的影响 滴灌是淡水淋盐最节本增效的措施之一。在滴灌条件下

滨海重盐土添加土壤改良剂淋盐试验中,30 cm 土层土柱加一定配比改良剂的土壤达到饱和并淋出盐水,持水量为 2~2.5 L,滴灌 3 L 淡水后,各处理土体中均有水淋出。根据滴灌量与土壤改良剂配比两因素随机区组设计分析(图 1)表明,随着滴灌数量的增加滨海盐土平均全盐含量逐渐降低,但不同滴灌水量降低土壤盐分幅度有差异。滴灌水量为 W₁(0.2 m³/m²)时土壤盐分平均值为 0.94%,脱盐率 70.15%;W₂(0.26 m³/m²)处理土壤盐分平均值为 0.67%,脱盐率 78.73%;W₃(0.33 m³/m²)处理土壤盐分平均值为 0.59%,脱盐率 81.26%;W₄(0.39 m³/m²)处理土壤盐

分平均值为0.61%，脱盐率 80.63%。根据差异显著性分析， W_1 与其它滴灌量处理之间的土壤全盐含量差异达极显著水平； W_2, W_3, W_4 处理之间的土壤全盐含量差异不显著，说明滴灌淋盐中前期大水量滴灌可以取得较好的脱盐效果。因此，考虑脱盐效果与节本增效的目的，应该选取 $0.26\text{ m}^3/\text{m}^2$ 滴灌量进行重盐土脱盐淋洗。

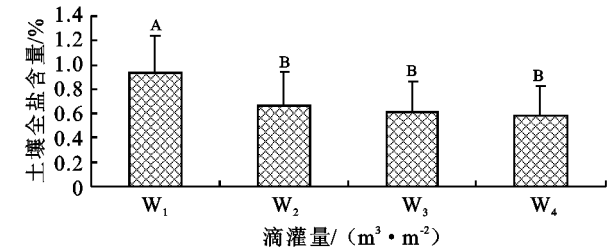


图 1 滴灌量对滨海重盐土全盐含量的影响

2.1.2 滴灌量对滨海重盐土 pH 值的影响 根据滴灌量与土壤改良剂配比两因素随机区组试验分析，结果表明(图 2)，滴灌与土壤改良剂共同作用可使滨海重盐土 pH 值迅速降低，滴灌量为 W_1 处理时，pH 值降低幅度最大，与其它滴灌量处理对 pH 值的影响差异达到极显著水平，pH 值由原来的 8.05 降至 7.16，土壤类型由碱性土(7.5~8.5)转化为适宜植物生长的中性土(6.5~7.5)。随着滴灌量的增加，pH 值有升高的趋势，但升高幅度不大， W_2, W_3 两处理之间差异不显著；当滴灌量进一步增加至 W_4 处理，pH 值又有所下降，降幅也不大，这可能是土壤改良剂的施用使土壤的理化性质发生变化所致。可见，在改良剂与滴灌水量的共同作用下，滴灌水量为 $0.2\text{ m}^3/\text{m}^2$ 就能将土壤 pH 值降低到适宜植物生长的范围。

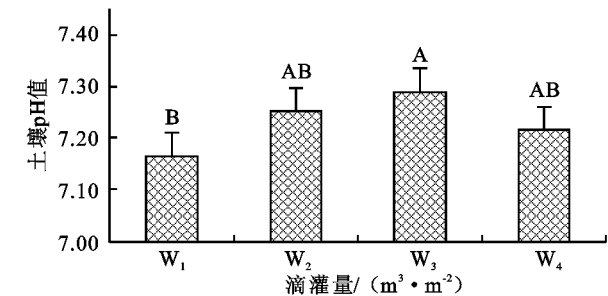


图 2 滴灌量对滨海重盐土 pH 值的影响

2.1.3 淋溶脱盐过程中滨海重盐土全盐含量与 pH 值的关系 对 4 次淋溶脱盐过程中土壤全盐含量与 pH 值进行相关分析，结果表明(表 2)，土壤全盐含量与 pH 值呈显著负相关，即土壤全盐含量随土壤 pH 值的降低而逐渐增加，这种现象在淋溶脱盐后期明显大于前期，这与王丽娜等研究结果一致^[8]。因此，综合考虑脱盐率、pH 值及在其淋溶过程中它们间的相互关系，淋溶滴灌水量选取 W_2 ，盐分及 pH 值均能达

到植物适宜生长的范围，不仅能够实现快速脱盐、节本增效的目的，又能解决随滴灌量的增加，土壤盐分降低、土壤 pH 值升高的问题。

表 2 滴灌过程中滨海重盐土全盐含量与 pH 值的相关系数

滴灌量	W_1	W_2	W_3	W_4
相关系数	-0.1711	-0.8397	-0.8511	-0.8893

注：相关系数临界值， $r_{0.05}=0.4973, r_{0.01}=0.6226$

2.2 不同土壤改良剂对滨海重盐土脱盐的影响

2.2.1 不同土壤改良剂对滨海重盐土全盐含量的影响 滴灌量 $0.26\text{ m}^3/\text{m}^2$ 的滴灌条件下，应用正交设计极差分析法对滴灌后土壤全盐含量进行极差分析并作图，结果表明(图 3)，5 个因素对土壤全盐含量的影响顺序为磷石膏>腐植酸>有机肥> ZnSO_4 >秸秆。可以看出，磷石膏是土壤全盐量影响最大的因素，但不是降低土壤全盐量贡献最大的因素，根据图 3 曲线，磷石膏的施用使土壤全盐量增加了，而且土壤全盐量随着磷石膏施入量增加而略有增加，说明施入脱硫石膏过量可导致土壤全盐量增加，与邵玉翠等^[9]研究结果一致。施用磷石膏后，土壤的理化性质得到明显改善，施用量越大，土壤渗透性越好、硬度明显降低^[10]。同样从图 3 还可以看出，腐植酸、有机肥对土壤全盐含量的影响曲线陡峭，而且施用量越大土壤全盐量降低越明显，因此，对土壤脱盐贡献率较大。秸秆与 ZnSO_4 施用量对土壤全盐量的影响曲线平缓，对土壤脱盐贡献率较小。从降低全盐含量来看，最优改良剂配比组合为 $A_1 B_1 C_2 D_2 E_4$ 。

2.2.2 不同土壤改良剂对滨海重盐土 pH 值影响从图 4 看出，5 个因素对土壤 pH 值影响顺序为磷石膏>腐植酸> ZnSO_4 >秸秆>有机肥。可见，磷石膏和腐植酸是土壤 pH 值影响较大的因素，并且随着施入量的增大，pH 值降低，说明磷石膏和腐植酸对调节土壤 pH 值有十分重要的作用。综合分析 5 个因素对土壤 pH 值影响，可以看出降低 pH 值的最优改良剂配比组合为 $A_1 B_3 C_3 D_4 E_2$ 。

2.2.3 滨海重盐土脱盐改良剂配比最优组合的确定

根据降低全盐含量和 pH 值来看，得到 2 种不同的改良剂配比组合。要达到滨海重盐土改良目的，就是使土壤全盐含量和 pH 值 2 个指标均降低到适宜植物生长的范围。兼顾降低土壤全盐含量和 pH 值的作用，择优选择最佳改良剂水平组合是十分关键的。对 A 因素而言，对土壤全盐含量和对 pH 值的影响均属于次要因素，而且两指标最优水平都是选取的 A_1 ，因此最后选取 A_1 水平；对 B 因素而言，对全盐含量和对 pH 值的影响均排在第一位，两指标中分别选 B_1 和 B_3 ，因为全盐含量随磷石膏施入量的增加反会

而升高,考虑节本增效,应该选取 B_1 水平;对 C 因素而言,对全盐含量影响排第三位,此时选取的 C_2 ,对 pH 值的影响排末位,因此,以全盐含量的最优水平为准,即选 C_2 水平;对 D 因素,对全盐含量和对 pH 值的影响均排在第二位,两指标中分别选取为 D_2 和 D_4 ,若选 D_2 ,pH 值增加 1%,若选 D_4 ,全盐含量增加 43%,因此选取 D_2 水平;对 E 因素,对全盐含量和 pH 值的影响均属次要因素,两指标中分别选取为 E_4 和 E_2 ,若选取 E_4 ,pH 值比选 E_2 增加 0.5%,选 E_2 ,全盐含量增加 36%左右,因此选取 E_4 水平。因此,适宜滨海重盐土的改良剂最优水平组合为 $A_1 B_1 C_2 D_2 E_4$,即秸秆 $0.05 \text{ m}^3/\text{m}^2$ + 磷石膏 $3 \text{ kg}/\text{m}^2$ + 有机肥 $0.1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ + 腐植酸 $0.06 \text{ kg}/\text{m}^2$ + ZnSO_4 $0.12 \text{ kg}/\text{m}^2$ 。

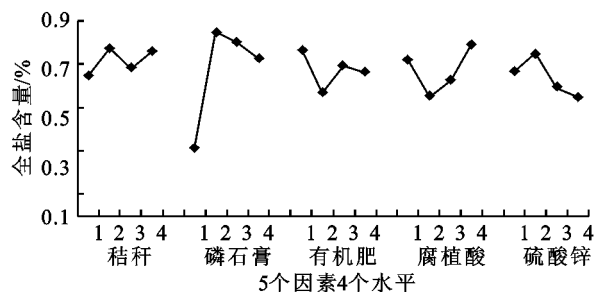


图3 不同改良剂及施用量对滨海重盐土全盐含量的影响

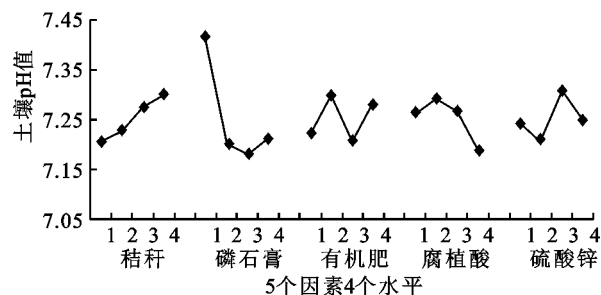


图4 不同改良剂及施用量对滨海重盐土 pH 值的影响

3 结论

(1) 通过不同滴灌水量对滨海盐土全盐含量和 pH 值的影响研究,确定了以 $0.26 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 滴灌量进行滴灌,脱盐率达 78.73%,pH 值也能达到植物适宜生长的范围,能够达到快速脱盐的目的。

(2) 在滴灌量 $0.26 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 的滴灌条件下,5 种改良物质在 4 个水平上对土壤全盐含量影响顺序为磷石膏>腐植酸>有机肥> ZnSO_4 >秸秆,最优水平

组合为 $A_1 B_1 C_2 D_2 E_4$;对 pH 值影响顺序为磷石膏>腐植酸> ZnSO_4 >秸秆>有机肥,最优水平组合为 $A_1 B_3 C_3 D_4 E_2$ 。

(3) 兼顾土壤全盐含量和 pH 值的影响,考虑节本增效目标,淤泥粉砂质滨海重盐土改良的最佳配方为秸秆 $0.05 \text{ m}^3/\text{m}^2$ + 磷石膏 $3 \text{ kg}/\text{m}^2$ + 有机肥 $0.1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ + 腐植酸 $0.06 \text{ kg}/\text{m}^2$ + ZnSO_4 $0.12 \text{ kg}/\text{m}^2$ 。

(4) 该研究结果不仅改善了土壤理化性质,达到快速脱盐的效果,也为植物生长提供了所需营养元素,尤其有机肥和腐植酸等营养肥料,可缓解淤泥质滨海盐土土壤结构性差、盐分高、肥力低的问题。但是,由于该研究是室内进行的试验,其田间效果还有待进一步验证。

参考文献:

- [1] 姚宝林,叶含春,孙三民,等. 红枣滴灌条件下灌水水质对土壤盐分分布的影响研究[J]. 水土保持研究,2011,18(2):218-220.
- [2] 景峰,朱金兆,张学培,等. 滨海泥质盐碱地台田水盐动态对比研究[J]. 水土保持研究,2009,18(5):104-109.
- [3] 陈丽娟,冯起,张新民,等. 明沟排水洗盐条件下土壤水盐动态模拟研[J]. 水土保持研究,2010,17(1):235-236.
- [4] 王洪义,王智慧,杨风军,等. 浅密式暗管排盐技术改良苏打盐碱地效应研究[J]. 水土保持研究,2013,20(3):235-238.
- [5] 任巍,阿迪力·吾彼尔,马林. 盐土改良剂筛选试验研究[J]. 新疆农业大学学报 2012,35(5):405-40.
- [6] 曲长凤,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.
- [7] 熊毅,席承藩. 华北平原土壤[M]. 北京:科学出版社,1961.
- [8] 王丽娜,张玉龙,范庆锋,等. 淋洗状态下保护地土壤 pH 与盐分含量及其组成关系的研究[J]. 节水灌溉,2009(6):8-11.
- [9] 邵玉翠,任顺荣,廉晓娟,等. 盐渍化土壤施用有机物—脱石膏改良剂效果的研究[J]. 水土保持学报,2009,23(5):175-183.
- [10] 张海军,李跃进,陈昌和,等. 脱石膏改良碱土过程中特征值变化的研究[J]. 干旱区资源与环境,2007,2(7):165-168.