

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2020.02.015

王相平, 杨劲松, 张胜江, 等. 石膏和腐植酸配施对干旱盐碱区土壤改良及棉花生长的影响. 土壤, 2020, 52(2): 327–332.

石膏和腐植酸配施对干旱盐碱区土壤改良及棉花生长的影响^①

王相平¹, 杨劲松^{1*}, 张胜江², 姚荣江¹, 谢文萍¹

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 新疆水利水电科学研究院/新疆农业节水工程技术研究中心, 乌鲁木齐 830049)

摘要: 针对试验区盐碱土特点, 选择石膏和腐植酸为盐碱土壤改良剂, 通过石膏、腐植酸单施与石膏和腐植酸不同用量配施试验, 分析了改良剂施用后土壤盐分含量和 pH 变化及对棉花株高、茎粗和产量的影响, 优选出适宜于该试验区的最佳改良剂。试验结果表明, 石膏和腐植酸质量配比 9 : 1 组合在 3 000 和 4 500 kg/hm² 施用量情况下, 0 ~ 20 cm 土壤降盐效果好于单独施用石膏或腐植酸处理; 而单施腐植酸处理对棉花增产效果最好, 较对照增产 29.8%。综合来看, 该地区较优的改良剂及用量为: 石膏和腐植酸质量配比 9 : 1 混合施用 3 000 kg/hm², 其可使 0 ~ 20 cm 土壤含盐量较对照下降 24.3%, 棉花增产 24%。

关键词: 土壤改良; 盐碱地; 田间试验; 土壤盐分含量; 干旱区; 作物产量

中图分类号: S156.4 文献标志码: A

Effects of Combined Application of Gypsum and Humic Acid on Improvement of Saline-alkali Soil and Cotton Growth in Arid Areas

WANG Xiangping¹, YANG Jingsong^{1*}, ZHANG Shengjiang², YAO Rongjiang¹, XIE Wenping¹

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2 Xinjiang Institute of Water Resources and Hydropower Research/Xinjiang Engineering and Technology Research Center for Water-saving Irrigation in Agriculture, Urumqi 830049, China)

Abstract: According to the characteristics of saline-alkali soil in the experimental area, the gypsum and humic acid used alone and combined to mitigate the negative effects of soil salinity on cotton growth. Soil salt content, pH, plant height, stem diameter and yield were measured during the cotton growth period in order to determine the optimal soil amendment for the test area. The results showed that 9 : 1 of gypsum to humic acid with the application amount of 3 000 and 4 500 kg/hm² had the better desalination effect in 0–20 cm soil than those of gypsum and humic acid used alone. Humic acid used alone had the best effect on cotton yield, increased by 29.8% compared with CK (no amendment). In conclusion, the optimal soil amendment was gypsum combined with humic acid with a ratio of 9 : 1 and with the application rate of 3 000 kg/hm², it could decrease salinity in 0–20 cm soil by 24.3% and increase cotton yield by 24% compared with CK.

Key words: Soil improvement; Saline-alkali soil; Field experiment; Soil salt content; Arid areas; Crop yield

土地盐碱化是影响干旱和半干旱地区生态系统稳定、资源有效利用和生产发展的核心问题之一。新疆盐碱地有 0.2 亿 hm², 约占新疆土地面积的 1/8、平原区的 1/4^[1], 其中盐碱化耕地占灌区耕地的 37.72%, 南疆盐碱化耕地占总耕地面积的 49.6%^[2]。合理开发、治理与利用巨大的盐碱地资源, 是解决人口日益增加与耕地逐渐减少的矛盾的重要突破口, 对促进我国耕地资源占补平衡、保持地区耕地总量、确

保粮食安全具有重要意义。

盐碱地改良和修复措施主要包括物理、化学、生物和水利工程等^[3–5], 其中由于物理、生物和水利工程等方法投入代价大、周期长, 在生产实践中应用化学改良剂是主要修复措施之一^[6–7]。化学措施改良盐碱土通过施用改良物质置换土壤中的 Na⁺、降低土壤碱性、凝聚土壤颗粒和改善土壤结构, 达到加速盐分淋洗的目的。因此常用的化学改良材料包括含钙类

①基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0501405, 2016YFC0501301)资助。

* 通讯作者(jsyang@issas.ac.cn)

作者简介: 王相平(1982—), 女, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为盐碱地治理与修复。E-mail: xpwang@issas.ac.cn

(石膏、脱硫石膏、磷石膏等)、酸性物质(硫磺、硫酸铝等)和有机物料类(腐植酸、沼液、木醋液等)。其中石膏和腐植酸由于其环境友好性^[7],在盐碱地和反酸田改良^[8-13]方面均有研究报道,且其混合施用效果在改良盐碱地方面效果显著,因此常作为化学改良措施的首选材料^[10]。刘娟等^[12]在新疆农八师 134 团开展了滴灌条件下脱硫石膏对盐碱土改良效果研究,结果表明,施用脱硫石膏可明显降低 0~20 cm 土壤电导率和 pH。Zhao 等^[13]研究了燃气脱硫石膏对东北苏打盐碱土的改良效果,结果表明,脱硫石膏施用 2 a 后,土壤电导率和 pH 可下降 38.6% 和 14.6%。顾鑫等^[14]通过小白菜盆栽试验发现,天然煤炭腐植酸可降低土壤 pH 和电导率,增加土壤含水率。孙在金^[10]研究表明,脱硫石膏和腐植酸配施对滨海地区中高盐碱化土壤改良效应显著,可改善土壤的理化性能,促进植物生长。周阳^[15]认为脱硫石膏和腐植酸配施可显著提高盐碱地玉米产量,降低土壤容重、pH 和碱化度。Bacilio 等^[16]研究表明,通过施用腐植酸可改善盐碱地上胡椒的生长指标。综上所述,前人多研究改良剂对盐碱化土壤理化性质的影响,而对于干旱区盐碱地改良以及棉花的生长发育情况研究较少,综合分析石膏、腐植酸及其两者混施对于干旱区盐碱耕地土壤改良效果和棉花生长影响的研究,更是鲜有报道。因此,本文在前人研究的基础上,研究石膏和腐植酸不同配比及其不同施用量对于干旱盐碱区土壤盐分含量、pH 和棉花生长的影响,探索该地区石膏和腐植酸最佳使用配比及施用量,以期为该地区盐碱土治理改良提供一定的科学参考。

1 试验区概况与试验方法

1.1 试验区概况

试验在新疆巴音郭楞蒙古自治州水利管理处灌溉试验站进行(41°36'N, 86°12'E)。试验区位于南疆库尔勒市西尼尔镇,处于天山南麓塔里木盆地边缘孔雀河冲积平原带;属暖温带大陆性荒漠气候,干旱少雨,蒸发强烈,昼夜温差大。年平均气温 11.5 °C,无霜期 191 d,日照时数 3 036.2 h,年平均降雨量 53.3~62.7 mm,潜在蒸发量 2 273~2 788 mm,地下水位埋深在 1.4~2.4 m。试验区土壤基本理化性质如表 1 所示。

1.2 试验设计

试验设置改良剂处理组合和空白对照共 9 个处理(表 2),即完全对照处理 CK、单施石膏处理、单施腐植酸处理,以及根据石膏和腐植酸不同质量配比设置 2 种配方处理,每种配方设置高、中、低 3 种用量。

表 1 试验区土壤理化性质
Table 1 Soil physiochemical properties in experimental area

土层(cm)	盐分(g/kg)	pH	容重(g/cm ³)	土壤质地
0~20	9.88	8.42	1.57	砂粉土
20~40	10.73	8.16	1.64	砂粉土
40~60	7.34	8.09	1.54	砂壤土
60~80	2.30	8.58	1.45	砂壤土
80~100	1.35	8.92	1.51	砂土

其中, S 表示石膏, F 表示腐植酸, L 表示低用量, M 表示中用量, H 表示高用量, 1 表示配方一, 2 表示配方二。试验在田间小区进行, 小区长 7 m, 宽度为 4 个覆膜宽度约 6 m, 以中间两膜覆盖区域为采样区域, 两边覆膜区域为保护行, 各处理随机排列。本试验石膏施用量参考罗小东等^[17]在该试验区研究结果。供试腐植酸为新疆双龙腐植酸有限公司生产, 其中腐植酸(干基)≥60%, 推荐用量为 450 kg/hm²。石膏和腐植酸改良剂于翻地前撒播于土壤表层, 翻地时与耕层土壤混匀。

供试作物为棉花, 于 2017 年 4 月 24 日播种, 施用底肥磷酸二铵 750 kg/hm²、硫酸钾 75 kg/hm², 灌水方式为膜下滴灌, 田间管理同当地常规方式保持一致。

表 2 试验处理
Table 2 Treatments of experiment

处理	改良剂	用量(kg/hm ²)
CK	空白	0
S	石膏	4 500
F	腐植酸	450
L1	石膏(90%)+腐植酸(10%)	1 500
M1	石膏(90%)+腐植酸(10%)	3 000
H1	石膏(90%)+腐植酸(10%)	4 500
L2	石膏(95%)+腐植酸(5%)	1 500
M2	石膏(95%)+腐植酸(5%)	3 000
H2	石膏(95%)+腐植酸(5%)	4 500

1.3 测定项目与方法

土壤含盐量和 pH 测定^[18]: 在施加改良剂前和棉花收获后, 分别在 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80 和 80~100 cm 土层采集土壤样品, 测定其盐分含量和 pH, 其中, 土壤盐分含量采用土水质量比 1:5 电导法测定, pH 采用土水质量比 1:5 电位法测定。

棉花生长指标测定: 在棉花生育期, 每个小区选定 3 株棉花, 定期采用米尺和游标卡尺分别测定其株高和茎粗。在收获前期, 在试验区选择一定面积对其区域内棉花株数和棉桃数进行计量, 并随机采集 50

朵棉絮进行晾晒称重, 根据测产面积、棉花株数、棉桃数和 50 朵棉絮质量计算小区棉花产量。由于样方测产数据一般偏高, 因此实测棉花产量为小区计算棉花产量乘以 0.85。

2 结果与分析

2.1 不同改良剂对土壤盐分含量的影响

由表 3 可以看出, 施用不同改良剂后, 在 0~10 cm 土层, 各改良剂处理土壤盐分含量都低于 CK, 其中以 H1 处理土壤盐分含量最低, 为 4.72 g/kg, 较 CK 降低 31%, L1 处理土壤盐分含量与 CK 接近, 为 6.78 g/kg, 盐分含量仅下降 1%; 在 10~20 cm 土层, 各改良剂处理土壤盐分含量均明显低于 CK, 其中 M2 处理土壤盐分含量较 CK 降低最多, 为 5.07 g/kg, 其次为 M1 和 S 处理, F 处理土壤盐分含量降低最少, 为 7.13 g/kg; 在 20~40 cm 土层, 除 S、L2 和 M2 处理外, 其他处理盐分含量均大于 CK, 其中以 H2 和 L1 处理土壤盐分含量最大, 较 CK 土壤盐分含量高约 47%, 这也说明在灌溉淋洗作用下, 施用改良剂处理小区土壤盐分更容易向下淋洗; 在 40~80 cm 土

层, 除个别处理外, 各改良剂处理土壤盐分含量均小于 CK; 在 80~100 cm 土层, 各改良剂处理土壤盐分含量除 L2 处理外, 与 CK 差别不大。通过对整个剖面土壤盐分分布的分析发现, 施用改良剂处理的小区土壤盐分在 20~40 cm 土层有累积现象, 这可能是由于棉花生育期采用滴灌灌溉方式, 土壤盐分淋洗深度有限。罗小东等^[17]也研究发现, 在 0~20 cm 土层范围内, 土壤含盐量呈现降低现象, 在 30~40 cm 土层范围内, 有些处理相比对照有积盐现象。

将不同改良剂处理 0~20 cm 土层土壤盐分平均含量与 CK 土壤盐分的差值作为衡量各改良剂在降低土壤盐分含量方面的效果, 可以发现, H1、M1、M2、S 和 H2 处理降低盐分效果较好, 脱盐率分别为 26.6%、24.3%、22.8%、22.6% 和 20.6%; 而 F、L2 和 L1 处理在脱盐效果方面稍逊于其他处理, 脱盐率分别为 11.5%、10.0% 和 9.9%。石膏(90%)和腐植酸(10%)配比施用, 在施用量为 3 000 和 4 500 kg/hm² 时, 土壤脱盐效果优于单独施用石膏 4 500 kg/hm² 和腐植酸 450 kg/hm²。

表 3 棉花收获后不同处理土壤盐分含量(g/kg)
Table 3 Soil salt contents under different treatments after cotton harvesting

处理	0~10 cm	10~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	60~80 cm	80~100 cm
CK	6.86 ± 0.80 a	7.91 ± 1.64 a	7.72 ± 1.52 bc	9.90 ± 0.54 a	3.25 ± 1.92 b	1.50 ± 0.26 bc
S	5.19 ± 3.21 a	6.24 ± 2.99 a	7.58 ± 1.77 bc	9.00 ± 1.79 ab	2.18 ± 0.82 b	1.23 ± 0.19 c
F	5.95 ± 2.05 a	7.13 ± 2.52 a	11.18 ± 0.97 a	9.95 ± 1.86 a	2.81 ± 0.50 b	1.90 ± 0.21 bc
L1	6.78 ± 2.45 a	6.52 ± 2.17 a	11.32 ± 0.71 a	9.99 ± 0.39 a	8.82 ± 1.02 a	2.90 ± 0.45 b
M1	5.57 ± 2.58 a	5.62 ± 3.03 a	9.21 ± 1.22 ab	4.48 ± 0.49 c	2.48 ± 0.55 b	1.96 ± 0.06 bc
H1	4.72 ± 2.96 a	6.12 ± 3.63 a	10.03 ± 0.38 ab	11.23 ± 0.57 a	3.42 ± 0.70 b	1.62 ± 0.25 bc
L2	6.55 ± 2.72 a	6.75 ± 2.13 a	6.32 ± 1.80 c	5.82 ± 1.75 c	9.86 ± 1.86 a	6.30 ± 1.93 a
M2	6.33 ± 2.03 a	5.07 ± 3.27 a	7.44 ± 1.09 bc	4.43 ± 1.38 c	1.04 ± 0.20 b	1.61 ± 0.52 bc
H2	5.86 ± 2.71 a	5.87 ± 2.83 a	11.38 ± 0.23 a	6.71 ± 0.98 bc	1.88 ± 0.51 b	2.43 ± 0.32 bc

注: 同列数据后不同小写字母表示各处理间差异达 $P < 0.05$ 显著水平; 下同。

2.2 不同改良剂对土壤 pH 的影响

表 4 为不同试验处理棉花收获后土壤剖面 pH, 可以看出, 在 0~10 cm 土层, 除 S 处理土壤 pH 略高于 CK 外, 其他处理土壤 pH 相较于 CK 均有所降低, 其中以 M1 处理降低效果最为明显, 降低了 0.16 个单位; 在 10~20 cm 土层, 除 L2 处理外, 施用改良剂处理土壤 pH 均小于 CK, 其中以 L1 处理降低效果最为明显, 降低了 0.22 个单位; 而在 20~40 cm 土层, 除 L2 处理土壤 pH 略高于 CK 外, 其他处理均小于 CK, 且以 L1 和 H1 处理降低效果最为明显; 在 40 cm 土层以下, 由于滴灌灌溉水量和改良剂作用深度的原因, 各

处理土壤 pH 变化规律不如 0~40 cm 土壤表现明显, 变化趋势更多的是反映了土壤 pH 本来的分布特征。

从 0~20 cm 土层土壤平均 pH 变化来看, 石膏与腐植酸配比施用处理降低 pH 效果要优于 S 处理; L1、M1、H1 和 H2 处理降低 pH 效果优于 F 处理, L2 处理降低 pH 效果劣于 F 处理, M2 处理降低土壤 pH 效果与 F 处理效果相当。这可能是因为石膏在中和土壤碱性降低 pH 的同时, 土壤中 HCO₃⁻ 的相对含量随盐分降低而增加, 导致 pH 升高^[19], 而腐植酸分子结构中含有羟基和酚羟基等活性功能团, 因此具有弱酸性, 通过酸碱中和作用使土壤 pH 降低。

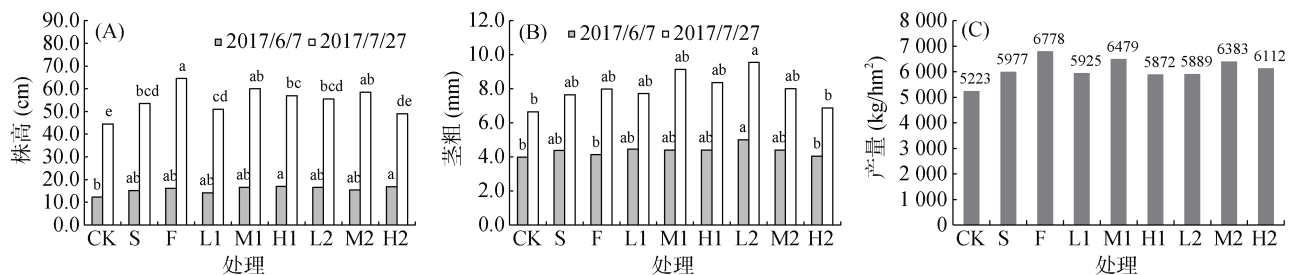
表 4 棉花收获后不同处理土壤 pH
Table 4 Soil pH values under different treatments after cotton harvesting

处理	0~10 cm	10~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	60~80 cm	80~100 cm
CK	8.56 ± 0.24 ab	8.20 ± 0.28 a	8.26 ± 0.03 ab	8.55 ± 0.25 ab	8.52 ± 0.18 bcd	8.63 ± 0.10 cd
S	8.65 ± 0.20 a	8.25 ± 0.09 a	8.16 ± 0.14 ab	8.15 ± 0.16 de	8.68 ± 0.13 abc	8.79 ± 0.09 abc
F	8.44 ± 0.07 ab	8.13 ± 0.10 a	8.16 ± 0.09 ab	8.24 ± 0.11 cde	8.73 ± 0.10 ab	8.99 ± 0.08 a
L1	8.41 ± 0.04 ab	7.98 ± 0.26 a	8.11 ± 0.07 b	8.15 ± 0.05 de	7.99 ± 0.31 e	8.48 ± 0.06 d
M1	8.40 ± 0.16 b	8.05 ± 0.12 a	8.23 ± 0.14 ab	8.64 ± 0.11 a	8.91 ± 0.08 a	8.99 ± 0.14 a
H1	8.47 ± 0.21 ab	8.07 ± 0.08 a	8.11 ± 0.12 b	8.09 ± 0.07 e	8.47 ± 0.11 cd	8.87 ± 0.08 ab
L2	8.44 ± 0.04 ab	8.24 ± 0.26 a	8.33 ± 0.10 a	8.38 ± 0.15 bcd	8.15 ± 0.08 e	8.23 ± 0.19 e
M2	8.41 ± 0.08 ab	8.18 ± 0.17 a	8.22 ± 0.08 ab	8.43 ± 0.21 abc	8.93 ± 0.10 a	8.70 ± 0.19 bc
H2	8.45 ± 0.05 ab	8.04 ± 0.04 a	8.14 ± 0.09 b	8.36 ± 0.06 bcd	8.91 ± 0.07 a	8.96 ± 0.15 a

2.3 不同改良剂对棉花生长的影响

棉花生育期间, 分别于 2017 年 6 月 7 日和 7 月 27 日对棉花株高、茎粗指标进行了测定(图 1)。从图 1A 可以看出, 在棉花生长前期, 除 CK 外, 其他处理之间无明显差别, H1 和 H2 处理株高最大, 分别为 17.1 和 16.9 cm; 在棉花生长后期, F 处理棉花生长加速, 株高最高, 为 64.5 cm, 其次为 M1 和 M2 处理, CK 株高最低为 44.5 cm。从显著性分析来看,

两次测定结果 F、M1 和 M2 处理之间无显著差别。从图 1B 可以看出, 不论在棉花生长早期还是后期, L2 处理棉花茎粗均最大。除 CK 和 H2 处理外, 其他处理在棉花生长后期茎粗无显著差别; 除 H2 处理外, 施用改良剂处理棉花茎粗均显著大于 CK, 表明改良剂的施用改善了棉花根系生长的环境条件, 更加有利于根层养分的利用, 促进棉花的生长。



(柱图同一序列中不同小写字母表示处理间差异达 $P < 0.05$ 显著性水平)

图 1 不同改良剂处理对棉花株高(A)、茎粗(B)及产量(C)的影响

Fig.1 Heights, stem diameters and yields of cotton under different soil amendments

施用改良剂后, 棉花产量都高于 CK, 其中以 F 处理对棉花产量提高最多, 其次为 M1、M2 和 H2 处理, 产量均超过了 6 000 kg/hm², 相较于 CK, F、M1、M2 和 H2 处理棉花产量增加了 29.8%、24.0%、22.2% 和 17.0%; S、L1、L2 和 H1 处理棉花产量均大于 5 850 kg/hm², 分别比 CK 增加了 14.4%、13.4%、12.7% 和 12.4%(图 1C)。

3 讨论

3.1 改良剂对土壤盐分和 pH 的影响

石膏加入土壤后, 通过 Ca²⁺置换土壤胶体上吸附的 Na⁺和 Mg²⁺, 使钠质亲水胶体变为钙质疏水胶体, 从而改善土壤结构和通透性, 起到了脱盐和抑盐作用, 同时还可以降低土壤的 pH、碱化度及土壤的

容重与紧实度^[20-21]。而腐植酸是土壤中的重要有机部分, 一般占土壤有机质的 60% 左右, 通过影响土壤盐基交换量、影响土壤持水性、促进土壤团粒形成、控制土壤中各类离子迁移、固定和淋溶等来改良盐碱土^[10,15-16,22]。腐植酸和石膏配施可加大石膏的溶解量^[23-24], 进而提升 Na⁺置换能力, 强化石膏改良盐碱土效果。王晓洋等^[22]研究表明, 在江苏滨海地区腐植酸与石膏配施降低盐分效果最好。这可能是由于腐植酸的阳离子交换量比一般土壤高 10 倍以上, 施入腐植酸后, 土壤对 Ca²⁺ 的吸附能力显著提高, 加速了 Na⁺ 等的淋洗, 从而使表层土壤盐分下降^[25]。岳殷萍等^[23]通过土柱淋洗试验研究得出, 脱硫石膏与腐植酸配施在改良盐碱土方面效果显著。Nan 等^[26]研究表明, 脱硫石膏和腐植酸配施, 可增加土壤含水

率,显著降低土壤 Na^+ 、 Cl^- 、盐分含量和 pH。本文研究也表明,石膏和腐植酸 9:1 配施降低土壤盐分和 pH 效果优于单独使用石膏的 S 处理。进一步分析 CK、S 和 H1 处理土壤 Na^+ 、 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 变化情况,CK、S 和 H1 处理 0~20 cm 土壤 Na^+ 含量分别为 0.239、0.065 和 0.027 g/kg, Mg^{2+} 含量分别为 0.204、0.199 和 0.166 g/kg, Ca^{2+} 含量分别为 0.412、0.504 和 0.644 g/kg。试验结果表明, S 处理相比 CK, 土壤 Na^+ 含量下降了 72.8%, Mg^{2+} 含量下降了 2.5%, Ca^{2+} 含量增加了 22.3%; 而 H1 处理相比 CK, 土壤 Na^+ 含量下降了 88.7%, Mg^{2+} 含量下降了 18.6%, Ca^{2+} 含量增加了 56.3%, 相比 S 处理, 土壤 Ca^{2+} 含量增加了 27.8%, Na^+ 含量下降了 58.5%, 大大提升了 Na^+ 置换能力, 印证了已有研究结论。

3.2 改良剂对棉花生长的影响

棉花生长受多种因素影响,对 0~20 cm 土层土壤盐分平均含量与棉花产量做回归分析,得到的回归方程为 $y = -721.22x^2 + 8831.1x - 20682$, $R^2 = 0.574$, 方程拟合度较好,说明在盐渍化地区棉花产量受土壤盐分含量影响较大,盐分含量是限制该地区棉花增产的主要因素。进一步分析盐分数据和产量数据发现,在盐分含量超过 6 g/kg 以后,产量开始呈线性下降趋势,这也与前人在新疆地区研究的棉花耐盐阈值类似,张豫等^[27]研究发现在阿克苏河灌区 0~20 cm 土壤盐分含量为 5.6 g/kg 时,棉花减产速率最大。施用改良剂,有效降低了土壤盐分含量,进而促进了棉花株高、茎粗的生长,提高了产量。以产量为例,棉花产量由低到高依次为 $\text{CK} < \text{H1} < \text{L2} < \text{L1} < \text{S} < \text{H2} < \text{M2} < \text{M1} < \text{F}$, 0~20 cm 土层土壤盐分平均含量由大到小依次为 $\text{CK} > \text{L1} = \text{L2} > \text{F} > \text{H2} > \text{S} > \text{M2} > \text{M1} > \text{H1}$, 除 H1 和 F 处理外,棉花产量排序基本与盐分高低排序相反,说明改良剂降低盐分效果越好,棉花产量提高越多。本研究结果表明石膏和腐植酸 9:1 组合根据用量不同可实现棉花增产 12.4%~24.0%,并促进棉花株高和茎粗生长。这是因为腐植酸能够促进土壤团聚体的形成,改善土壤的团粒结构,调节土壤的水、肥、气、热状况,从而改善作物的生长环境;而石膏中的 Ca^{2+} 可以置换出吸附在土壤中的 Na^+ , 并通过灌溉淋洗作用,将 Na^+ 淋洗出作物根层,为作物创造良好的生长环境。不管是单独施用石膏、腐植酸还是两者的配比施用,均改善了土壤的物理特性、棉花生长的水盐环境,有利于根系养分的吸收,进而促进了棉花的生长。南江宽等^[28]研究了不同改良剂对滨海盐渍土盐碱指标和作物产量的影响,结果表明施用腐植酸对油菜和玉米产量

的提高最有效。罗小东等^[17]研究石膏不同施用量对棉花生长的影响,结果表明各施用量情况下均促进了棉花茎粗和产量的提高,以施用量为土壤 Na^+ 含量的 200% 时,棉花的茎粗和产量增加最多。张伶俐等^[6]研究表明,脱硫石膏和腐植酸 1:1 组合可实现玉米增产 40%。

4 结论

1)各盐碱改良剂处理可明显降低 0~20 cm 土层土壤盐分含量和 pH。不同改良剂处理土壤含盐量和 pH 降低效果不同,以石膏和腐植酸 9:1 组合施用量 3 000 和 4 500 kg/hm² 降低盐分效果较好,降盐率可达 20%;石膏与腐植酸配施降 pH 效果好于单独施用石膏处理,以石膏和腐植酸 9.5:1 组合施用量 1 500 kg/hm² 降低 pH 效果最为明显。

2)各盐碱改良剂处理均可促进棉花生长,提高棉花产量。综合分析各试验处理棉花株高、茎粗和产量结果,发现石膏和腐植酸 9:1 组合施用量 3 000 kg/hm² 增产效果较好。

3)综合棉花生长指标和土壤改良效果,该区推荐盐碱土改良剂为石膏和腐植酸 9:1 组合,施用量 3 000 kg/hm² 时,0~20 cm 土壤盐分含量较 CK 下降 24.3%,棉花增产 24%。

参考文献:

- [1] 王斌,马兴旺,单娜娜,等.新疆盐碱地土壤改良剂的选择与应用[J].干旱区资源与环境,2014,28(7):111-115.
- [2] 田长彦,买文选,赵振勇.新疆干旱区盐碱地生态治理关键技术研究[J].生态学报,2016,36(22):7064-7068.
- [3] 杨劲松,姚荣江.我国盐碱地的治理与农业高效利用[J].中国科学院院刊,2015,30(增刊):162-170.
- [4] Rozema J, Flowers T. Crops for a salinized world[J]. Science, 2008, 322(5907):1478-1480.
- [5] Darzi-Naftchali A, Mirlatifi S M, Shahnazari A, et al. Effect of subsurface drainage on water balance and water table in poorly drained paddy fields[J]. Agricultural Water Management, 2013, 130(4): 61-68.
- [6] 张伶俐,陈广锋,田晓红,等.盐碱土石膏与有机物料组合对作物产量与籽粒养分含量的影响[J].中国农学通报,2017,33(12):12-17.
- [7] 刘瑞敏,杨树青,史海滨,等.河套灌区中度盐渍化土壤改良产品筛选研究[J].土壤,2017,49(4):776-781.
- [8] 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[J].土壤学报,2017,54(1):255-264.
- [9] 易琼,杨少海,黄巧义,等.改良剂对反酸田土壤性质与水稻产量的影响[J].土壤学报,2014,51(1):176-183.

- [10] 孙在金. 脱硫石膏与腐植酸改良滨海盐碱土的效应与机理研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 2013.
- [11] Ali T, Kahlow N A. Role of gypsum in amelioration of saline-sodic and sodic soil[J]. *International Journal of Agriculture & Biology*, 2001, 3(3): 326–333.
- [12] 刘娟, 张凤华, 李小东, 等. 滴灌条件下脱硫石膏对盐碱土改良效果及安全性的影响[J]. *干旱区资源与环境*, 2017, 31(11): 87–93.
- [13] Zhao Y, Wang S, Li Y, et al. Extensive reclamation of saline-sodic soils with flue gas desulfurization gypsum on the Songnen Plain, Northeast China[J]. *Geoderma*, 2018, 321: 52–60.
- [14] 顾鑫, 任翠梅, 杨丽, 等. 天然煤炭腐植酸对盐碱土改良效果的研究[J]. *灌溉排水学报*, 2017, 36(9): 57–61.
- [15] 周阳. 脱硫石膏与腐植酸改良盐碱土效果研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2016.
- [16] Bacilio M, Moreno M, Bashan Y. Mitigation of negative effects of progressive soil salinity gradients by application of humic acids and inoculation with *Pseudomonas stutzeri*, in a salt-tolerant and a salt-susceptible pepper[J]. *Applied Soil Ecology*, 2016, 107: 394–404.
- [17] 罗小东, 王全九, 谭帅, 等. 基于土壤钠离子含量的不同施用量石膏改良剂的改良效果[J]. *干旱地区农业研究*, 2016, 34(1): 288–292.
- [18] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [19] 王遵亲, 祝寿泉, 俞仁培, 等. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [20] 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.
- [21] Wang J, Yang P. Potential flue gas desulfurization gypsum utilization in agriculture: A comprehensive review[J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2017, 82: 1969–1978.
- [22] 王晓洋, 陈效民, 李孝良, 等. 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.
- [23] 岳殷萍, 李虹谕, 张伟华. 脱硫石膏与腐植酸改良盐碱土的效果研究[J]. *内蒙古科技与经济*, 2016(14): 85–87.
- [24] Ciarkowska K, Sołek-Podwika K, Filipek-Mazur B, et al. Comparative effects of lignite-derived humic acids and FYM on soil properties and vegetable yield[J]. *Geoderma*, 2017, 303: 85–92.
- [25] 王敏, 刘永民. 腐植酸强化脱硫石膏改良油污盐碱土壤的研究[J]. *灌溉排水学报*, 2010, 29(2): 131–133.
- [26] Nan J, Chen X, Wang X, et al. Effects of applying flue gas desulfurization gypsum and humic acid on soil physico-chemical properties and rapeseed yield of a saline-sodic cropland in the eastern coastal area of China[J]. *Journal of Soils & Sediments*, 2016, 16(1): 38–50.
- [27] 张豫, 王立洪, 孙三民, 等. 阿克苏河灌区棉花耐盐指标的确定[J]. *中国农业科学*, 2011, 4(10): 2051–2059.
- [28] 南江宽, 陈效民, 王晓洋, 等. 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[J]. *土壤*, 2013, 45(6): 1108–1112.