

河西绿洲灌区土壤调理剂改良 盐碱土的效果初探

程万莉¹, 郭帅杰², 蔡立群², 齐鹏², 樊廷录³, 王淑英¹

(1. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学资源与环境学院, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃省农业科学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 增施土壤调理剂是改良盐碱土壤的主要措施之一, 但因盐碱土改良调理剂种类繁多, 成分差别大, 使用尚存争议, 为给土壤调理剂在盐碱土改良中的应用及绿洲土壤盐碱化防治提供科学依据, 选用5种不同成分土壤调理剂, 在不改变河西绿洲灌区施肥水平和方式的前提下, 研究了增施土壤调理剂对盐碱土的改良效果及对作物生长的影响。结果表明, 增施土壤调理剂不同时期后, 同土层各处理 pH、EC 值较不施土壤调理剂均有不同程度的降低, pH 和 EC 值总体表现为增施硫磺粉 9 000 kg/hm²>增施磷石膏 30 000 kg/hm²>增施腐植酸 1 200 kg/hm²>增施禾康土壤调理剂 45 kg/hm²>增施盐地宝盐碱土改良剂 45 kg/hm²>不施用土壤调理剂。增施磷石膏 30 000 kg/hm²、硫磺粉 9 000 kg/hm²、腐植酸 1 200 kg/hm² 均可降低 Na⁺、Cl⁻ 含量, 增加 Ca²⁺、SO₄²⁻ 含量, 对盐碱土改良效果明显。各处理对玉米折合产量的影响由高到低依次呈现为增施腐植酸 1 200 kg/hm²、增施硫磺粉 9 000 kg/hm²、增施磷石膏 30 000 kg/hm²、增施禾康土壤调理剂 45 kg/hm²、施盐地宝盐碱土改良剂 45 kg/hm²、不施用土壤调理剂。综合考虑认为, 在河西绿洲灌区不改变当地施肥水平和方式的前提下, 增施腐植酸 1 200 kg/hm² 和增施硫磺粉 9 000 kg/hm² 对河西绿洲灌区盐碱地的改良效果较好。

关键词: 土壤调理剂; 盐碱土; 改良; 效果; 河西绿洲灌区

中图分类号: S156.4

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2023)02-0131-08

doi:10.3969/j.issn.2097-2172.2023.02.008

Preliminary Study on the Effects of Soil Conditioners on Saline-alkali Soil Improvement in Hexi Oasis Irrigation Area

CHENG Wanli¹, GUO Shuaijie², CAI Liqun², QI Peng², FAN Tinglu³, WANG Shuying¹

(1. Institute of Dryland Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China;

2. College of Resources and Environment, Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu 730070, China;

3. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: Application of soil conditioners is one of the main measures to improve saline-alkali soil, due to the wide variety of soil conditioners as well as the large differences in composition, the application of soil conditioners for saline-alkali soil improvement is still controversial. To provide references for the application of soil conditioners in saline-alkali soil improvement and the prevention and control of soil salinization in Hexi Oasis Irrigation Area, 5 different soil conditioners with diverse components were chosen in this study to study their application effects on soil improvement and the impact on crop growth by adding conditioners without changing the fertilization. The results showed that after various periods of soil conditioner application, the pH and EC values of each treatment at the same soil depth decreased to varying degrees when compared to the control (no application of soil conditioners), and the overall pH and EC values were T4 (additional application of sulfur powder at 9 000 kg/ha) > T1 (additional application of phosphogypsum at 30 000 kg/ha) > T5 (additional application of humic acid at 1 200 kg/ha) > T2 (additional application of Hekang conditioner at 45 kg/ha) > T3 (additional application of Yandibao saline-alkali soil improver at 45 kg/ha) > the control. Contents of Na⁺ and Cl⁻ in the soil were decreased whereas contents of Ca²⁺ and SO₄²⁻ in the soil were increased under the treatments of T1, T4 and T5, which showed good effects on the improvement of saline-alkali soil. Effects of different treatments on the yields of maize ranked as T5 > T4 > T1 > T2 > T3 > the control. Comprehensively speaking, when fertilization is not altered, additional application of humic acid at 1 200 kg/ha and additional application of sulfur powder at 9 000 kg/ha showed ideal effects on the saline-alkali soil improvement in the Hexi Oasis Irrigation Area.

收稿日期: 2022-10-25

基金项目: 兰州市科技计划项目(2018-1-94); 中央引导地方科技发展专项(兰州盐碱地生物有机肥改良与高效利用); 甘肃农业大学青年教师项目(GAU-QNDS-201703)。

作者简介: 程万莉(1989—), 女, 甘肃靖远人, 助理研究员, 硕士, 主要从事土壤改良与培肥工作。Email: chwlr@163.com。

通信作者: 郭帅杰(1993—), 男, 山西壶关人, 硕士, 主要从事土壤改良与培肥工作。Email: 918042445@qq.com。

Key words: Soil conditioner; Saline-alkali soil; Improvement; Effect; Hexi Oasis Irrigation Area

甘肃河西走廊地处西北干旱区,地势平坦面积广,光热资源丰富,但水资源严重匮乏,属于无灌溉就无农业的区域,是甘肃粮食生产重心所在地,也是我国西北旱区生态环境脆弱区,灌溉中的“水随盐动”易引发土壤盐碱化^[1-2]。由于气候、灌溉、成土母质等自然和人为因素共同作用,致使该区域土壤原生、次生盐碱化同在,使绿洲土壤变异性增大^[3-4]。受盐碱化影响的土壤面积广大,严重制约绿洲灌区农业发展、生态保护和经济社会进步^[5-7]。

近年来,当地采取多种措施治理改良盐碱土,保护绿洲生态环境,效果显著^[8]。但由于该区域受干旱少雨蒸发强,石羊河流域内地下水水位上升等因素影响,土壤盐碱化问题依旧存在^[9]。增施土壤调理剂虽能够在短期内快速解决土壤盐碱化问题,但因其种类繁多、成分和作用机理不同、生产使用缺乏技术规范等问题尚有争议^[10-11]。本研究于2021年选用5种不同成分且具有盐碱土改良效果的土壤调理剂,在不改变河西绿洲灌区当地施肥水平和方式的前提下,通过增施土壤调理剂进行了改良盐碱地试验,研究了土壤调理剂对河西绿洲灌区盐碱土的改良效果及其对作物生长的影响,旨在为土壤调理剂在盐碱土改良中的应用和绿洲土壤盐碱化防治提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验设在武威市民勤县东坝镇左新村四社。地理位置东经104°7′43″、北纬37°16′12″。为河西走廊东北部,海拔1400 m,属于大陆性干旱气候。年均降水量为127.7 mm,蒸发量2623 mm,昼夜温差大,全年平均气温8.3℃,全年日照时间长,日照时数3073.5 h,光热资源充足,无霜期162 d。土壤类型为潮土,播前0~20 cm土层土壤含有机质10.52 g/kg、全氮0.72 g/kg、有效磷15.8 mg/kg、速效钾132 mg/kg,EC值(电导率)为0.30 mS/cm, pH 8.31。

1.2 供试材料

指示玉米品种为金苹果628。供试土壤调理剂为磷石膏(主要成分为CaSO₄, pH 3.6,甘肃瓮福化

工有限公司提供)、禾康土壤调理剂(通过富含的羧基络合增溶土壤固有肥料、螯合土壤成盐离子,再结合灌水改良土壤,其固形物350~430 g/L, pH 2.0~3.0,水不溶物≤10 g/L,密度1.1~1.2 g/cm³,北京飞鹰绿地科技发展有限公司生产)、盐地宝盐碱土改良剂(改良剂配制方法是在5~40℃温度及常压下,按一定的质量比例将聚顺丁烯二酸、烷基苯磺酸钠、黄腐酸、腐植酸溶于水中,并进行充分混合溶解,甘肃农业大学资源与环境学院提供)、硫黄粉(细度325目,兰州金龙天威橡胶工贸有限责任公司生产)、腐植酸(主要成分腐植酸含量≥25%、有机质≥45%、总养分≥30%,N-P₂O₅-K₂O为15-10-5,玉门龙川高科技发展有限公司生产)。

1.3 试验方法

试验共设6个处理,分别为CK,不施用土壤调理剂;处理T1,增施磷石膏30000 kg/hm²,均匀撒施,耕翻入土;处理T2,增施禾康土壤调理剂45 kg/hm²,用水稀释10倍,与适量沙土拌匀撒施;处理T3,增施盐地宝盐碱土改良剂45 kg/hm²,用水稀释10倍,与适量沙土拌匀撒施;处理T4,增施硫黄粉9000 kg/hm²,均匀撒施,耕翻入土;处理T5,增施腐植酸1200 kg/hm²,均匀撒施,耕翻入土。随机区组排列,3次重复,小区面积17.5 m²(5.0 m×3.5 m),小区间以30 cm宽的地埂隔开。各处理小区均施磷酸二铵375 kg/hm²、尿素375 kg/hm²、硫酸钾375 kg/hm²作为底肥。试验采用垄膜沟灌栽培方式,于4月28日播种。各处理全生育期均灌水6次,于5月28日、6月2日分别按灌溉定额1100 m³/hm²灌溉;7月8日、7月26日分别按灌溉定额1000 m³/hm²灌溉,并分别随水追施尿素300 kg/hm²、225 kg/hm²;8月15日、8月30日按灌溉定额1100 m³/hm²灌溉。播种密度、病虫害防治等田间管理均同当地大田。

1.4 样品采集与分析测定

在玉米播前、拔节期、灌浆期和成熟期采用“S”采样法分别采集0~10、10~20、20~40、40~60 cm土壤样品,每小区每土层均采集5个点,将同层次混合样品保留约1 kg装袋密封备用。

成熟期各小区随机选取 10 株玉米考种, 按小区收获测产。

土壤样品带回后统一送至甘肃省旱作区水资源高效利用重点实验室进行检测, 用酸度计法测定 pH, 采用电导法测定电导率(EC), 测定土样中八大盐分离子(K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、HCO₃⁻、CO₃²⁻)含量并进行分析, 全盐含量用八大盐离子含量总和表示。

1.5 数据处理

试验数据分析采用 WPS 2020 和 SPSS 22.0 统计分析软件进行处理, 采用单因素方差分析(one-way ANOVA)进行显著分析(P<0.05)。

2 结果与分析

2.1 不同土壤调理剂对土壤 pH 的影响

从玉米生育时期不同土层土壤 pH 变化(图 1)可以看出, 在增施调理剂后不同时期, 同一土层各处理的 pH 较 CK 均有不同程度降低, pH 总体表现为处理 T4<处理 T1<处理 T5<处理 T2<处理 T3<CK。从玉米播前开始, pH 动态变化总体上表现出拔节期、灌浆期降低, 成熟期增加的趋势, 同一土层不同生育时期 pH 降低程度不同。在 0~10 cm 土层, 处理 T1、T2、T3、T4、T5 在拔节期、灌浆期、成熟期 pH 降幅分别为 0.12%~4.04%、1.09%~3.16%、0.36%~3.37%, 平均降幅最大的为拔节期, 其次为灌浆期和成熟期; 在 10~20 cm 土层, 增施土壤调理剂各处理在拔节期、灌浆期、成熟期 pH 降幅分别为 0.57%~2.27%、0.36%~4.62%、0.60%~4.70%, 平均降

幅最大的为成熟期, 其次为灌浆期、拔节期; 在 20~40 cm 土层, 增施土壤调理剂各处理在拔节期、灌浆期、成熟期 pH 降幅分别为 0.36%~2.94%、0.64%~4.94%、1.18%~4.96%, 平均降幅最大的为灌浆期, 其次为成熟期、拔节期; 在 40~60 cm 土层, 增施土壤调理剂各处理在拔节期、灌浆期、成熟期 pH 降幅分别为 0.36%~3.10%、0.76%~3.23%、0.47%~3.07%, 平均降幅最大的是成熟期, 其次为灌浆期和拔节期。

2.2 不同土壤调理剂对土壤电导率的影响

同一类型的土壤溶液, 盐离子组成相同, 电导率与土壤含盐量正相关。电导法能相对准确的测定其含盐量, 所以本研究用土壤电导率来表示含盐量^[1, 12]。从增施不同土壤调理剂土壤电导率的测定结果(图 2)可知, 增施土壤调理剂后, 玉米不同生育阶段不同土层土壤的 EC 值较 CK 均不同程度降低, EC 值总体表现为处理 T4<处理 T1<处理 T5<处理 T2<处理 T3<CK。从玉米播前开始, EC 值的动态变化总体上表现出拔节期和灌浆期降低成熟期增加的趋势, 同一土层不同生育时期 EC 值降低程度不同。在 0~10 cm 土层, 增施土壤调理剂各处理在拔节期、灌浆期、成熟期的 EC 值降幅分别为 6.67%~53.33%、27.59%~49.66%、9.38%~43.75%, 平均降幅最大的为灌浆期, 其次为成熟期、拔节期; 在 10~20 cm 土层, 增施土壤调理剂各处理在拔节期、灌浆期、成熟期的 EC 值降幅分别为 5.76%~42.17%、7.41%~45.46%、6.67%~36.67%, 平均降幅最大的为灌

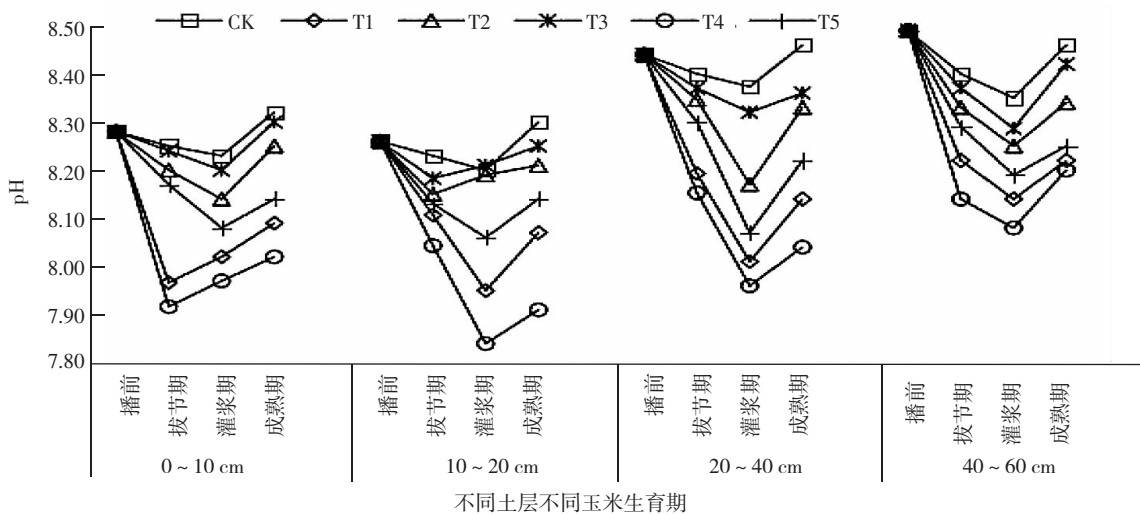


图 1 增施不同土壤调理剂土壤 pH 的动态变化

浆期，其次为拔节期、成熟期；在 20~40 cm 土层，增施土壤调理剂的各处理在拔节期、灌浆期、成熟期的 EC 值降幅分别为 16.67%~46.67%、7.14%~35.13%、9.68%~38.71%，平均降幅最大的为拔节期，其次为成熟期、灌浆期；在 40~60 cm 土层，增施土壤调理剂的各处理在拔节期、灌浆期和成熟期的 EC 值降幅分别为 9.85%~

34.75%、4.84%~21.78%、14.29%~31.43%，平均降幅最大的为成熟期，其次为拔节期、灌浆期。

2.3 不同土壤调理剂对土壤盐离子组成的影响

2.3.1 对土壤阳离子的影响 从不同土壤调理剂对玉米成熟期土壤阳离子的影响(表 1)可以看出，增施不同土壤调理剂后，不同土层土壤中 Na⁺ 含量均较 CK 有不同程度下降。在 0~10 cm 土层，处

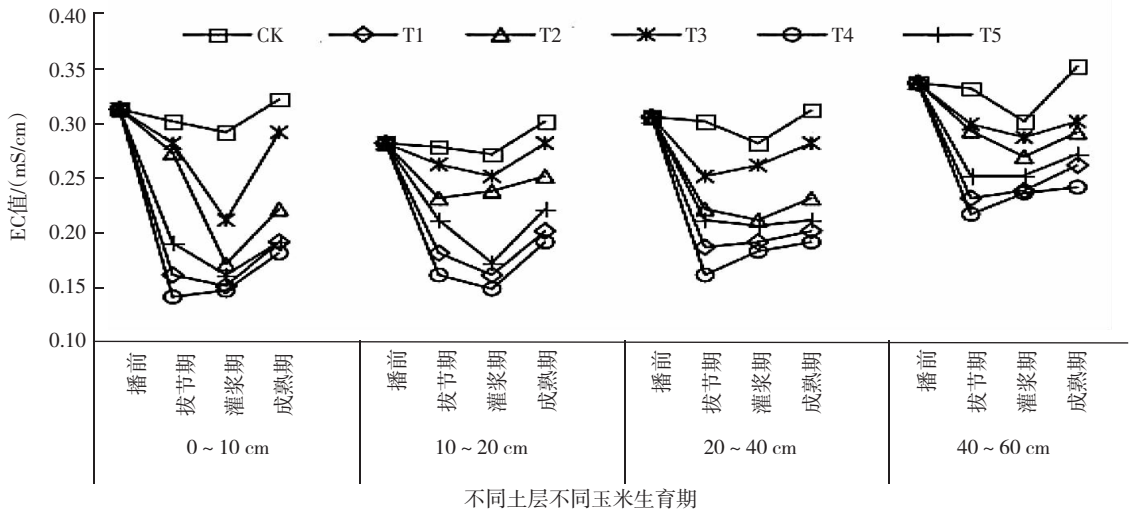


图 2 增施不同土壤调理剂土壤 EC 的动态变化

表 1 增施不同土壤调理剂处理的土壤阳离子含量

处理	土层深度/cm			
	0~10	10~20	20~40	40~60
	Na ⁺ 含量/(g/kg)			
CK	0.341±0.007a	0.215±0.043 a	0.195±0.042 a	0.261±0.036 a
T1	0.279±0.039 ab	0.188±0.015 ab	0.189±0.043 a	0.253±0.023 a
T2	0.248±0.023 b	0.175±0.011 ab	0.186±0.021 a	0.212±0.048 a
T3	0.228±0.011 b	0.141±0.011 ab	0.175±0.015 a	0.203±0.039 a
T4	0.204±0.036 bc	0.150±0.025 ab	0.190±0.036 a	0.241±0.008 a
T5	0.135±0.005 c	0.130±0.018 b	0.156±0.018 a	0.202±0.015 a
	K ⁺ 含量/(g/kg)			
CK	0.012±0.001 b	0.007±0.001 b	0.003±0.001 b	0.004±0.001 b
T1	0.026±0.002 a	0.019±0.003 a	0.010±0.002 a	0.012±0.003 a
T2	0.014±0.002 b	0.011±0.003 a	0.003±0.001 b	0.008±0.005 ab
T3	0.015±0.002 b	0.011±0.001 a	0.003±0.001 b	0.004±0.001 b
T4	0.019±0.002 ab	0.016±0.004 a	0.007±0.002 a	0.013±0.003 a
T5	0.018±0.002 b	0.014±0.002 a	0.004±0.001 b	0.008±0.005 ab
	Ca ²⁺ 含量/(g/kg)			
CK	0.019±0.001 c	0.025±0.004 c	0.018±0.001 c	0.024±0.006 c
T1	0.372±0.071 a	0.183±0.023 a	0.127±0.025 a	0.089±0.031 a
T2	0.021±0.001 c	0.024±0.006 c	0.023±0.007 c	0.031±0.015 c
T3	0.020±0.002 c	0.021±0.005 c	0.034±0.018 c	0.034±0.033 c
T4	0.331±0.006 a	0.151±0.073 a	0.063±0.023 b	0.074±0.055 ab
T5	0.102±0.025 b	0.064±0.079 b	0.060±0.046 b	0.057±0.001 b
	Mg ²⁺ 含量/(g/kg)			
CK	0.009±0.003 b	0.010±0.003 ab	0.009±0.003 ab	0.012±0.006 a
T1	0.021±0.003 a	0.016±0.003 a	0.014±0.004 a	0.014±0.003 a
T2	0.007±0.001 b	0.007±0.001 ab	0.007±0.002 ab	0.009±0.003 a
T3	0.006±0.001 b	0.006±0.001 ab	0.006±0.001 ab	0.010±0.003 a
T4	0.018±0.001 a	0.015±0.002 a	0.015±0.005 a	0.017±0.004 a
T5	0.010±0.003 b	0.012±0.003 ab	0.013±0.003 a	0.015±0.004 a

理 T1、T2、T3、T4、T5 的 Na^+ 含量与 CK 相比分别下降 18.18%、27.27%、33.13%、40.18%、60.41%，其中处理 T5 降幅最大。在 10~20 cm 土层，处理 T5 的 Na^+ 含量较 CK 显著降低，下降幅度为 39.53%。在 20~40 cm、40~60 cm 土层各处理的 Na^+ 含量均有所降低，但与 CK 无显著差异。

在 0~10、10~20 cm 土层，处理 T1 的 K^+ 含量显著高于 CK，增幅分别为 116.67%、171.43%，其余处理均与 CK 差异不显著。在 20~40 cm 和 40~60 cm 土层，处理 T1 和处理 T4 均显著高于 CK，其中处理 T1 比 CK 分别增加了 233.33%、200.00%；处理 T4 比 CK 分别增加了 133.33%、225.00%。其余各土层各处理与对照均差异不显著。由此表明，增施不同土壤调理剂后，处理 T1 可显著增加各土层 K^+ 含量，处理 T4 可显著增加 10~60 cm 土层 K^+ 含量，其余处理对 K^+ 含量影响不显著。

增施不同土壤调理剂后，处理 T1、T4、T5 在 0~60 cm 土层的 Ca^{2+} 含量均显著高于 CK，其余处理各土层与 CK 差异均不显著。T1 处理在 0~10、10~20、20~40、40~60 cm 土层的 Ca^{2+} 含量均最

高，分别为 0.372、0.183、0.127、0.089 g/kg，其次为处理 T4、处理 T5。这表明对土壤 Ca^{2+} 含量影响最大的是磷石膏，主要是因为其成分为 CaSO_4 ，含有大量活化了了的 Ca^{2+} ，有利于置换出 Na^+ ，使土壤中水溶性 Ca^{2+} 增加。

不同土壤调理剂对 Mg^{2+} 含量的影响较小，除处理 T1 和处理 T4 在 0~10 cm 土层 Mg^{2+} 含量显著高于 CK 外，其余处理各土层与 CK 相比差异均不显著。

2.3.2 对土壤阴离子的影响 碱性土壤 pH 高的主要原因之一是存在 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 。试验测定结果发现，供试土样中的 CO_3^{2-} 含量极低，可忽略不计，故土壤阴离子按 HCO_3^- 、 Cl^- 和 SO_4^{2-} 等 3 种分析。从表 2 可知，0~10、10~20 cm 土层， HCO_3^- 含量在处理 T1 和处理 T4 均显著低于 CK，处理 T1 较 CK 分别下降了 27.91%、22.50%；处理 T4 较 CK 分别下降了 25.58%、22.50%。在 20~40、40~60 cm 土层，处理 T1、处理 T4、处理 T5 均显著低于 CK，较 CK 下降了 13.51%~18.42%。从表 2 还可看出，增施不同土壤调理剂对不同土层 Cl^- 含量无显著性影响，同土层各处理间无明显变化

表 2 增施不同土壤调理剂处理的土壤阴离子含量

处理	土层深度/cm			
	0~10	10~20	20~40	40~60
HCO_3^- 含量/(g/kg)				
CK	0.43±0.09 a	0.40±0.06 a	0.37±0.04 a	0.38±0.03 a
T1	0.31±0.02 b	0.31±0.05 b	0.32±0.02 b	0.31±0.01 b
T2	0.35±0.01 ab	0.35±0.02 ab	0.33±0.01 ab	0.35±0.01 ab
T3	0.37±0.03 ab	0.38±0.01 ab	0.33±0.01 ab	0.36±0.02 ab
T4	0.32±0.02 b	0.31±0.02 b	0.31±0.01 b	0.32±0.02 b
T5	0.34±0.02 ab	0.34±0.01 ab	0.32±0.02 b	0.32±0.01 b
Cl^- 含量/(g/kg)				
CK	1.42±0.04 a	1.31±0.08 a	0.92±0.01 a	1.13±0.05 a
T1	1.03±0.02 a	1.06±0.04 a	1.21±0.05 a	1.56±0.15 a
T2	0.99±0.03 a	0.96±0.01 a	1.06±0.03 a	1.03±0.02 a
T3	0.99±0.05 a	0.92±0.01 a	1.03±0.03 a	1.03±0.04 a
T4	0.99±0.01 a	1.06±0.02 a	1.13±0.07 a	1.42±0.15 a
T5	1.13±0.06 a	0.82±0.03 a	0.82±0.02 a	1.21±0.03 a
SO_4^{2-} 含量/(g/kg)				
CK	0.25±0.16 d	0.41±0.16 c	0.43±0.38 d	0.36±0.21 c
T1	3.42±3.60 b	3.03±0.66 a	2.42±1.76 c	2.49±1.58 a
T2	0.39±0.34 d	0.35±0.26 c	0.87±0.18 d	1.31±0.99 bc
T3	0.27±0.16 d	0.29±0.24 c	0.50±0.43 d	1.18±0.42 c
T4	3.58±0.21 a	3.62±3.55 a	2.92±1.05 a	3.54±0.62 a
T5	1.24±1.09 c	1.13±1.82 b	1.40±2.78 b	1.26±1.70 ab

规律。增施不同土壤调理剂后土壤 SO_4^{2-} 含量呈现明显变化规律。不同土层处理 T4、处理 T1、处理 T5 SO_4^{2-} 含量均显著高于 CK，其中在 0~10 cm 土层，处理 T4、处理 T1、处理 T5 分别较 CK 增加了 1 332.00%、1 268.00%、396.00%，在同一土层增幅均最大；在 10~20 cm 土层，处理 T4、处理 T1、处理 T5 分别较 CK 增加了 782.93%、639.02%、175.61%；在 20~40 cm 土层，处理 T4、处理 T1 和处理 T5 分别较 CK 增加了 579.07%、462.79%、225.58%；在 40~60 cm 土层，处理 T4、处理 T1、处理 T5 分别较 CK 增加了 883.33%、591.67%、250.00%。

2.4 不同土壤调理剂对玉米农艺性状和产量的影响

不同调理剂对土壤性状影响的直接表现是作物长势及产量。不同土壤调理剂对玉米农艺性状和产量的影响见表 3。不同处理的作物农艺性状均较 CK 有明显改善，总体表现为处理 T5>处理 T4>处理 T1>处理 T2>处理 T3>CK。处理 T4、T5 的株高均较 CK 显著增高，分别增加了 6.32%、6.41%，其余处理均增加不显著。穗位高除处理 T5 显著高于 CK 外，其余处理均较 CK 有不同程度增加，增幅为 0.10%~7.43%，但差异不显著。处理 T4、T5 的穗粗均较 CK 显著增加，分别增加了 5.99%~6.76%，其余处理均与 CK 差异不显著。不同土壤调理剂除处理 T5 的穗长和穗行数均较 CK 显著增加外，其余处理较 CK 均有不同程度增加，但差异均不显著，增加幅度分别为 0.28%~9.51%、5.51%~10.12%。处理 T5、T4 的行粒数均显著高于 CK，分别高出 9.83%、6.62%，其余处理增加均不显著。处理 T5、T4、T1 的千粒重均显著高于 CK，分别较 CK 高 16.93%、9.53%、8.94%，其余处理均高于 CK 但差异不显著。施用不同土壤调理剂对玉米产量影响明显，施用土壤调理剂各处理

均较 CK 增产，增幅为 8.11%~27.18%。其中以处理 T5 折合产量最高，为 26 947.95 kg/hm²，较 CK 增产 27.18%；处理 T4 次之，折合产量为 25 331.70 kg/hm²，较 CK 增产 19.56%；处理 T1 居第 3 位，折合产量为 25 204.50 kg/hm²，较 CK 增产 18.96%；处理 T2、处理 T3 分别较 CK 增产 13.14%、8.11%。对产量进行方差分析表明，处理 T5 与处理 T4 差异不显著，与其余处理均差异显著；处理 T4 与处理 T1、处理 T2 均差异不显著，与处理 T3、CK 差异显著；处理 T1 与处理 T2、处理 T3 均差异不显著，与 CK 差异显著；处理 T2 与处理 T3 差异不显著，与 CK 差异显著；处理 T3 与 CK 差异不显著。

3 讨论与结论

pH 是重要的土壤化学性状之一，能直接反应土壤酸碱性，调节土壤养分储存、供应和有效性^[12-14]，影响土壤微生物活性^[15]、作物生物量和产量等^[16]。相关研究表明，土壤调理剂可调节不同土壤种类的土壤酸碱度，降低 EC 值^[17-19]。本研究中，在不同土壤调理剂较对照不施用土壤调理剂均降低了拔节期、灌浆期的土壤 pH 和 EC 值，在整个生育期内，增施磷石膏 30 000 kg/hm²、增施禾康土壤调理剂 45 kg/hm²、增施盐地宝盐碱土改良剂 45 kg/hm²、增施硫磺粉 9 000 kg/hm²、增施腐植酸 1 200 kg/hm² 的 pH 分别较对照不施土壤调理剂降低了 0.12~0.36、0.03~0.20、0.01~0.10、0.19~0.42、0.08~0.30，EC 值分别较对照不施土壤调理剂降低了 0.06~0.14、0.03~0.12、0.01~0.08、0.07~0.16、0.05~0.13，总体降幅表现为增施硫磺粉 9 000 kg/hm²>增施磷石膏 30 000 kg/hm²>增施腐植酸 1 200 kg/hm²>增施禾康土壤调理剂 45 kg/hm²>增施盐地宝盐碱土改良剂 45 kg/hm²。这表明在该区域土壤中增施硫磺粉、磷石膏和腐植酸对盐碱地的改良效果优于禾康和盐地宝类复合调理

表 3 增施不同土壤调理剂处理的玉米农艺性状和产量

处 理	株高 /cm	穗位高 /cm	穗粗 /mm	穗长 /cm	穗行数 /行	行粒数 /粒	千粒重 /g	产量 /(kg/hm ²)
CK	300.60±23.07 b	135.53±17.46 b	46.90±1.87 b	18.09±1.05 b	14.53±1.41 b	39.27±2.96 c	349.02±17.66 c	21 188.10±884.40 d
T1	315.33±17.02 ab	137.73±10.97 b	49.42±1.78 ab	18.90±0.97 b	15.60±1.35 ab	41.53±3.25 abc	380.22±18.97 b	25 204.50±1 414.50 abc
T2	311.40±13.46 ab	136.67±17.23 b	49.09±2.31 ab	18.45±1.05 b	15.47±1.60 ab	40.93±2.81 abc	355.15±7.38 bc	23 971.80±1 291.35 bc
T3	303.47±22.96 b	135.67±13.47 b	48.02±1.61 b	18.14±1.18 b	15.33±1.45 ab	39.80±3.28 bc	353.73±27.04 bc	22 906.50±1 395.45 cd
T4	319.60±11.55 a	138.00±11.64 ab	49.71±2.19 a	18.92±1.15 b	15.60±1.72 ab	41.87±3.48 ab	382.28±16.41 b	25 331.70±454.50 ab
T5	319.87±20.95 a	145.60±12.39 a	50.07±1.96 a	19.81±1.12 a	16.00±1.31 a	43.13±2.17 a	408.12±34.00 a	26 947.95±1 605.30 a

剂, 这与沈建生等^[20]、洪春来等^[21]、吴曦等^[22]、焦娟玉等^[23]的研究一致。作物收获期土壤 pH、EC 均有不同程度升高, 这可能主要是随着生育期推进不再灌溉以及季节性降水减少, 以及地表蒸发强烈、水去盐留、盐分上移累积所致^[23]。

盐碱土主要是土壤中盐分离子不平衡引起的。 Na^+ 非植物生长所需大量元素, 对茎发育有明显毒害作用, 通过拮抗作用抑制植物对 K^+ 和 Ca^{2+} 的吸收, 影响植物根系发育。 Na^+ 减少、 Ca^{2+} 增加有利于植物的生长发育。 K^+ 是植物生长必须大量元素之一, 但其含量过高会对作物根系发育产生毒害^[24-27]。本研究中, 增施不同调理剂后土壤盐分离子组成发生明显变化, 从不同处理下不同阳离子占阳离子总量的比例可知, Na^+ 含量均有不同程度降低, 对 K^+ 、 Mg^{2+} 的含量影响较小, Ca^{2+} 含量有不同程度增加, 这是因为在盐碱土中 Ca^{2+} 常以难溶性形态存在, 当增施调理剂后, 由于土壤 pH 降低, 加速难溶性盐类钙盐溶解的结果。不施用土壤调理剂的 Na^+ 含量占阳离子总量的 87.09%, 而增施磷石膏 30 000 kg/hm²、增施禾康土壤调理剂 45 kg/hm²、增施盐地宝盐碱土改良剂 45 kg/hm²、增施硫黄粉 9 000 kg/hm²、增施腐植酸 1 200 kg/hm² 的各处理 Na^+ 含量分别占阳离子总量的 50.17%、83.27%、81.46%、51.51%、62.30%; 不施用土壤调理剂的 Ca^{2+} 含量占阳离子总量的 7.40%, 增施磷石膏 30 000 kg/hm²、增施禾康土壤调理剂 45 kg/hm²、增施盐地宝盐碱土改良剂 45 kg/hm²、增施硫黄粉 9 000 kg/hm²、增施腐植酸 1 200 kg/hm² 各处理分别占阳离子总量的 42.55%、10.04%、11.89%、40.62%、28.30%。这与刘刚等^[28]、张丽辉等^[29]用硫黄粉、磷石膏改良盐碱土的研究结果相一致。土壤中阴离子以 Cl^- 和 SO_4^{2-} 为主, Cl^- 容易使土壤中交换性钙离子下降, 钙镁离子流失, SO_4^{2-} 可以增加土壤的酸度, 降低盐碱化等^[30-31]。增施土壤调理剂后 Cl^- 含量占阴离子总量的比例由对照不施土壤调理剂的 61.10% 降至增施磷石膏 30 000 kg/hm²、增施禾康土壤调理剂 45 kg/hm²、增施盐地宝盐碱土改良剂 45 kg/hm²、增施硫黄粉 9 000 kg/hm²、增施腐植酸 1 200 kg/hm² 各处理的 27.83%、48.40%、51.86%、23.61%、38.44%, SO_4^{2-} 含量占阴离子总量的比例由对照不施土壤调

理剂的 18.57% 增加至增施磷石膏 30 000 kg/hm²、增施禾康土壤调理剂 45 kg/hm²、增施盐地宝盐碱土改良剂 45 kg/hm²、增施硫黄粉 9 000 kg/hm²、增施腐植酸 1 200 kg/hm² 各处理的 65.06%、34.90%、29.34%、69.98%、48.74%。从离子组成来看, 该区域土壤主要是由于 Na^+ 、 Cl^- 和 SO_4^{2-} 不平衡引起的土壤盐碱化, 通过增施硫黄粉、磷石膏和腐植酸等土壤改良剂有显著的改良效果。

对玉米农艺性状和产量的影响中, 增施腐植酸 1 200 kg/hm²、增施硫黄粉 9 000 kg/hm² 较对照不施用土壤调理剂的株高、穗位高、穗粗、行粒数均有显著增加, 除增施盐地宝盐碱土改良剂 45 kg/hm² 的处理外, 其余处理的折合产量均较对照不施用土壤调理剂显著增加, 增幅为 13.14%~27.18%。其中以增施腐植酸 1 200 kg/hm² 的处理折合产量最高, 为 26 947.95 kg/hm², 较对照不施土壤调理剂增产 27.18%, 增幅最大, 但这与腐植酸含有大量作物生长必需的营养成分有一定关系, 与王苗等^[32]、范庭等^[33]的研究结果一致。增施硫黄粉 9 000 kg/hm² 的处理次之, 折合产量为 25 331.70 kg/hm², 较对照不施土壤调理剂增产 19.56%; 增施磷石膏 30 000 kg/hm² 的处理居第 3 位, 折合产量为 25 204.50 kg/hm², 较对照不施土壤调理剂增产 18.96%; 增施禾康土壤调理剂 45 kg/hm² 的处理居第 4 位, 折合产量为 23 971.80 kg/hm², 较对照不施土壤调理剂增产 13.14%。可见, 盐碱土调理剂应具有降低土壤碱性、平衡盐分离子含量、增加作物产量的效果, 且操作方式简单易行, 在盐碱土改良方面具有重要的应用潜力。综合考虑认为, 在河西绿洲灌区不改变河西绿洲灌区当地施肥水平和方式的前提下, 以增施腐植酸 1200 kg/hm² 和增施硫黄粉 9 000 kg/hm² 对盐碱地的改良效果好, 应大力推广。

参考文献:

- [1] 张义强, 王瑞萍, 白巧燕. 内蒙古河套灌区土壤盐碱化发展变化及治理效果研究[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(S1): 118-122.
- [2] 沈浩, 吉力力·阿不都外力. 玛纳斯河流域农田土壤水盐空间分布特征及影响因素[J]. 应用生态学报, 2015, 26(3): 769-776.
- [3] 雷晓萍, 刘晓峰. 宁夏银北地区盐碱地综合改良治理对策[J]. 中国工程咨询, 2016(8): 53-55.

- [4] 张建明, 齐文文. 民勤绿洲土壤盐分组成与光谱特征[J]. 生态学杂志, 2013, 32(10): 2620-2626.
- [5] 李建国, 濮励杰, 朱明, 等. 土壤盐渍化研究现状及未来研究热点[J]. 地理学报, 2012, 67(9): 1233-1245.
- [6] 刘广明, 吕真真, 杨劲松, 等. 典型绿洲区土壤盐分的空间变异特征[J]. 农业工程学报, 2012, 28(16): 100-107.
- [7] BAYAER W, SHEN YANJUN, AUDENGAOWA A, et al. Using remote sensing to evaluate land salinization in typical areas of Inner-Mongolia, China[C]. Boston: IEEE Geoscience and Remote Sensing Society, 2005: 2888-2890.
- [8] 徐先英, 丁国栋, 高志海, 等. 近 50 年民勤绿洲生态环境演变及综合治理对策[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(1): 40-48.
- [9] 汪杰, 王耀琳, 李昌龙, 等. 民勤绿洲水资源利用中的问题与节水途径[J]. 中国沙漠, 2006, 26(1): 103-106.
- [10] 孙蓟锋, 王旭. 土壤调理剂的研究和应用进展[J]. 中国土壤与肥料, 2013(1): 1-7.
- [11] 索琳娜, 马杰, 刘宝存, 等. 土壤调理剂应用现状及施用风险研究[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(6): 1141-1149.
- [12] 张 Jian 旗, 张继娜, 杨虎德, 等. 兰州地区土壤电导率与盐分含量关系研究[J]. 甘肃林业科技, 2009, 34(2): 21-24; 30.
- [13] SLESSAREV EW, LIN Y, BINGHAM NL, et al. Water balance creates a threshold in soil pH at the global scale[J]. Nature, 2016, 540, 567-569.
- [14] JIANG Y, LI Y, ZENG Q, et al. The effect of soil pH on plant growth, leaf chlorophyll fluorescence and mineral element content of two blueberries[J]. Acta Horticulturae, 2017, 1180, 269-276.
- [15] MUELLER K E, EISSENSTAT DM, HOBBI S E, et al. Tree species effects on coupled cycles of carbon, nitrogen, and acidity in mineral soils at a common garden experiment[J]. Biogeochemistry, 2012, 111, 601-614.
- [16] BANU N A, SINGH B, COPELAND L. Microbial biomass and microbial biodiversity in some soils from New South Wales, Australia[J]. Soil research, 2004, 42, 777-782.
- [17] FAGERIA N K, BALIGAR V C. Growth and nutrient concentrations of common bean, lowland rice, corn, soybean, and wheat at different soil pH on an inceptisol[J]. Journal of Plant Nutrition, 1999, 22, 1495-1507.
- [18] 张世昌. 不同用量土壤调理剂的稻田改良效果研究[J]. 中国农技推广, 2022, 38(2): 51-53; 43.
- [19] 李旺. 液体改良剂(康地宝、盐碱丰)对碱土改良效果的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2004.
- [20] 沈建生, 余红, 孙萍, 等. 土壤调理剂对草莓及土壤次生盐渍化的影响[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(2): 236-238.
- [21] 洪春来, 贾勤伟, 王卫平, 等. 改良剂对底泥固化土 pH 值调节和园林植物生长的效果浅析[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(7): 1370-1371; 1383.
- [22] 吴曦, 陈明昌, 杨治平. 碱性土壤施硫黄对油菜生长、土壤 pH 和有效磷含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007(4): 671-677.
- [23] 焦娟玉, 周成志. 磷石膏改良盐碱地资源化利用技术试验研究[J]. 农业开发与装备, 2018(8): 112-113.
- [24] 赵文举, 马宏, 豆品鑫, 等. 不同覆盖模式下土壤返盐及水盐运移规律[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(5): 210-214.
- [25] KINGSBURY R W, EPSTEIN E. Salt sensitivity in wheat case for specific ion toxicity[J]. Plant Physiol, 1986, 80: 651-654.
- [26] NYSTRAND M I, OSTERHOLM P, YU C, et al. Distribution and speciation of metals phosphorus sulfate and organic material in brackish estuary water affected by acid sulfate soils[J]. Appl Geochem, 2016, 66: 264-274.
- [27] KINRAIDE T B. Interactions among Ca^{2+} , Na^{+} and K^{+} in salinity toxicity: quantitative resolution of multiple toxic and ameliorative effects[J]. Journal of Experimental Botany, 1999, 50: 1495-1505.
- [28] 刘刚, 李新平, 张永宏, 等. 银北地区硫黄改良盐碱土初探[J]. 干旱地区农业研究, 2008(4): 79-82.
- [29] 张丽辉, 孔东, 张艺强. 磷石膏在碱化土壤改良中的应用及效果[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2001(2): 97-100.
- [30] TANG Z, LEI T, YU J, et al. Runoff and interrill erosion in sodic soils treated with dry PAM and phosphogypsum[J]. Soil SCI. SOC. AM. J, 2006, 70(3/4): 679-690.
- [31] 毛文娟. 不同改良剂对宁夏平罗盐碱土改良研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
- [32] 王苗, 李艳红, 张殿凯, 等. 腐植酸肥料应用研究进展[J]. 应用化工, 2022, 51(7): 2052-2056.
- [33] 范庭, 刘娜, 张霞, 等. 不同配料颗粒秸秆施用对土壤速效养分及小麦生长的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(6): 84-90; 120.