

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.20345

有机硅产品治理盐碱土壤研究初报

宋福如¹, 宋利强¹, 曹子库^{2*}, 宋志强¹, 宋聚强¹, 张鸿君¹, 乜红民¹, 王俊生²

(1. 河北省硅谷农业科学研究院, 河北 邯郸 057151;

2. 河北省邯郸市永年区农业农村局, 河北 邯郸 057150)

摘要: 有机硅土壤调理剂是一种新型肥料, 具有改良盐碱土壤, 促进作物生长的作用, 研究其对盐碱土壤理化性状、作物生物学性状的影响及机制对于新型肥料推广具有重要意义。采用有机硅产品+灌溉洗盐的大田试验方法, 2018~2019年, 在全国6个省11个县不同类型的典型盐碱土壤6种主推作物上开展了13个小区试验, 研究有机硅土壤调理剂对盐碱土壤理化性状、作物生物学性状及产量的影响。结果表明, 与试验前本底土样相比, 施用有机硅土壤调理剂降低耕层容重3.17%~28.40%, 降低耕层水溶性盐分总量4.32%~80.00%, 降低耕层pH 0.10~1.32。与普通复合肥相比, 施用有机硅土壤调理剂增加了水稻、玉米的株高、穗粒数、千粒重, 增加了向日葵的株高、茎粗、盘径、百粒重, 增加了甜菜的单块根重、蜜瓜单瓜重; 显著提高水稻产量2.97%~30.63%, 显著提高玉米产量4.09%~6.77%, 显著提高向日葵产量4.60%~14.21%, 显著提高蜜瓜产量2.91%~11.11%, 显著提高苹果产量8.89%~10.85%, 显著提高甜菜产量3.55%~7.75%。上述结果表明, 结合灌溉洗盐, 施用有机硅土壤调理剂可改善盐碱土壤理化性状, 改善作物生物学性状, 提高产量, 是一项治理盐碱土壤的新技术。

关键词: 有机硅; 土壤调理剂; 盐碱土壤; 作物

土壤盐碱化是一个世界范围的问题^[1-2], 据联合国科教文组织和粮农组织统计, 全球约有10亿hm²盐碱化土壤, 占地球陆地面积的30%左右, 主要分布在干旱、半干旱地区, 遍布世界100多个国家和地区^[3], 并且每年以100万~150万hm²的速度增加^[4-5], 呈现逐渐加重的趋势。因此, 治理盐碱化土壤, 防止其进一步扩大成为全球迫在眉睫的问题。我国盐碱化土壤约有9914万hm², 主要分布在包括东北平原, 西北干旱、半干旱地区, 黄淮海平原及东部沿海地区在内的17个省份^[6], 不仅造成资源的破坏、农业生产的巨大损失, 而且对生态环境构成威胁, 使环境 and 经济均受到危害。同时, 我国人口增长、经济发展和城镇化水平的提高对资源环境特别是耕地、生态用地的压力越来越大。盐

碱地是我国重要的后备耕地战略资源, 治理好盐碱地, 对补充我国耕地资源、保障国家粮食安全和重要农产品有效供给、建设生态文明具有重要意义。国内外对土壤盐渍化的治理从水利工程措施、农艺措施和生物措施、化学措施等方面开展了大量研究^[7-8]。水利工程措施主要建立地表排水系统和暗管排水等系统, 通过淋洗、以淡压咸方法排除土壤中的大量盐分, 降低土壤盐渍化程度^[9-10], 但这种方法耗淡水多, 投资巨大, 维护费用高, 地下水位控制不当易造成土壤次生盐渍化。农艺措施主要通过合理轮作、深翻松耕、压沙等农艺措施降低盐碱危害程度^[11], 但其效果难尽人意, 存在返盐的潜在危险。生物措施主要是选育抗盐、耐盐植物品种来实现^[12-16], 但目前还未能实现规模化生产且见效慢、周期长。化学措施主要是通过施用化学改良剂, 利用酸碱中和原理来改良盐碱土壤理化性状。土壤改良剂的研究始于19世纪末^[17]。其一方面可改善土壤结构, 增加孔隙度, 提高盐碱土排盐降渍的能力; 另一方面增加盐基代换, 调节土壤酸碱度^[18-19]。据农业农村部肥料登记公告信息, 我国治理盐碱土壤调理剂的主要原料有以下几类: 天然矿石类(如火山岩-蒙脱石、麦饭石、石膏、白

收稿日期: 2020-06-15; 录用日期: 2020-09-23

基金项目: 河北省重点研发计划项目(17221202D); 河北省创新创业人才团队及院士工作站建设奖励性后补助项目(169A76189H); 邯郸市科学技术研究与发展计划项目(1517104016; 1634305006; 19112012018)。

作者简介: 宋福如(1950-), 男, 河北邯郸人, 高级工程师, 从事有机硅新材料的研究。E-mail: guigukejichu@163.com。

通讯作者: 曹子库, E-mail: yntfzczk@126.com。

云石、钾长石、沸石等)、动物残体类(如禽类羽毛、牡蛎壳等)、工农业废弃物类(如味精发酵尾液、氨基酸发酵尾液、燃煤烟气脱硫石膏等)、天然活性物质类(如生化黄腐酸等)、人工合成聚合物类(如聚马来酸等)。但存在以下问题:施用量大,使用成本高,治理周期长、效果差;某些产品长期使用会破坏土壤结构,造成土壤板结;有的产品潜在环境风险很大,尤其是以固体废弃物和分子聚合物为原料的调理剂^[20];此外,以天然矿物为原料的调理剂,施用后分解释放的阳离子对土壤也可能产生毒害作用^[21];同时,调理剂施用与农艺技术相脱离,实用性不够,影响了实际应用。截止到目前,利用有机硅作为主要原料的调理剂来治理盐碱土壤的研究,国内外鲜见报道。大量研究均表明,硅元素几乎对所有作物都有促进生长、提高产量、改善品质、提高作物抗逆性的作用^[22-24]。引入有机硅进行盐碱土壤治理,进一步放大了硅的作用和效应。本研究采用大田试验的方法,于

2018 ~ 2019 年连续 2 年在全国不同类型的典型盐碱土壤主推作物上开展了试验示范,旨在为有机硅调理剂的推广应用提供理论和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验时间、地点、供试作物

本试验为田间小区试验。在农业农村部耕地质量检测保护中心支持下,2018 年度安排试验 4 个(表 1),2019 年度安排试验 9 个(表 2)。

表 1 2018 年小区试验基本情况

试验地点	试验作物	试验设计
辽宁大洼	水稻	处理 1: 底施有机硅土壤调理剂(粉剂)(600 kg/hm ²) + 追施有机硅功能肥(颗粒)(150 kg/hm ²);
吉林洮北		处理 2: 底施有机硅土壤调理剂(粉剂)(900 kg/hm ²) + 追施有机硅功能肥(颗粒)(225 kg/hm ²);
甘肃高台	玉米	处理 3 (CK): 与处理 1 同等 N、P、K 养分的普通肥料
甘肃临泽	甜菜	

表 2 2019 年小区试验基本情况

试验地点	试验作物	试验设计
宁夏平罗	水稻	处理 1: 底施有机硅土壤调理剂(粉剂)(750 kg/hm ²) + 追施有机硅功能肥(颗粒)(225 kg/hm ²);
黑龙江林甸		处理 2: 底施有机硅土壤调理剂(粉剂)(1125 kg/hm ²) + 追施有机硅功能肥(颗粒)(225 kg/hm ²);
吉林大安		处理 3 (CK): 与处理 1 同等 N、P、K 养分的普通肥料
吉林前郭		
内蒙古五原	蜜瓜	处理 1: 底施有机硅土壤调理剂(粉剂)(600 kg/hm ²) + 追施有机硅功能肥(颗粒)(375 kg/hm ²);
内蒙古临河		处理 2: 底施有机硅土壤调理剂(粉剂)(900 kg/hm ²) + 追施有机硅功能肥(颗粒)(375 kg/hm ²);
		处理 3 (CK): 与处理 1 同等 N、P、K 养分的普通肥料
内蒙古五原	向日葵	处理 1: 底施有机硅土壤调理剂(粉剂)(450 kg/hm ²) + 追施有机硅功能肥(颗粒)(75 kg/hm ²);
内蒙古临河		处理 2: 底施有机硅土壤调理剂(粉剂)(750 kg/hm ²) + 追施有机硅功能肥(颗粒)(75 kg/hm ²);
		处理 3 (CK): 与处理 1 同等 N、P、K 养分的普通肥料
甘肃靖远	苹果	处理 1: 底施有机硅土壤调理剂(粉剂)(750 kg/hm ²) + 追施有机硅功能肥(颗粒)(750 kg/hm ²);
		处理 2: 底施有机硅土壤调理剂(粉剂)(1125 kg/hm ²) + 追施有机硅功能肥(颗粒)(750 kg/hm ²);
		处理 3 (CK): 与处理 1 同等 N、P、K 养分的普通肥料

1.2 供试肥料

供试肥料由河北省硅谷农业科学研究院提供。有机硅系列肥料(包括有机硅复合肥、有机硅水溶肥、有机硅土壤调理剂、有机硅功能肥等)含有机硅及氮磷钾等多种植物所需的营养成分,是一种完全水溶,并具有一定缓释性能的复合肥^[25]。有机硅土壤调理剂主要技术指标: N+P₂O₅+K₂O ≥ 45%, 有机质 ≥ 15.0%, 有机硅 ≥ 3.0%, 黄腐酸 ≥ 1.0%, Ca ≥ 0.5%, 粉剂。有机硅功能肥 N+P₂O₅+K₂O 含量

为 50% (20-10-20), 颗粒。

1.3 试验设计

试验设 3 个处理, 每个处理 3 次重复, 采用完全随机区组排列。小区面积一致, 水稻小区面积 20 ~ 50 m², 其他作物小区面积 40 ~ 50 m², 小区宽度不小于 3 m。果树小区面积 50 ~ 200 m², 小区内果树数量不少于 5 棵, 树势一致。处理: (1) 底施有机硅土壤调理剂(低用量) + 追施有机硅功能肥(低用量), 处理简称低用量处理; (2) 底施有

机硅土壤调理剂(高用量)+追施有机硅功能肥(高用量),处理简称高用量处理;(3)与处理1同等氮、磷、钾养分的普通肥料,处理简称CK。

施用方法:(1)有机硅土壤调理剂。在作物种植前,均匀撒于地表,旋耕后浇透水一次,当墒情适宜时种植。(2)有机硅功能肥。结合浇水追施。其他田间管理措施一致,按丰产田要求管理。

1.4 测定项目及方法

在整地施肥前和作物收获后,测定每个小区耕层的容重(环刀法),同时,用五点取样法采集0~20 cm土样,过2 mm孔径筛,运用常规方法进行土壤pH(电位法)、水溶性盐总量(质量法)的测定^[26]。2018年各理化性状由试验承担单位测定,2019年容重由试验承担单位测定,pH、水溶性盐总量由潍坊信博理化检测有限公司测定。

各小区进行单独收获,计算产量。

1.5 数据统计分析

试验数据处理采用Excel 2016和SPSS 20.0进行统计分析,采用PLSD法进行平均值的差异显著性比较。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤耕作层理化性状的影响

2.1.1 不同处理对土壤耕作层容重的影响

有机硅土壤调理剂可以破除土壤板结(表3)。所测定的10个不同试验点的土壤容重,施用调理剂的处理均比本底值有所降低,而CK变化不明显。其中低用量处理降低0.04(甘肃高台点)~0.41 g/cm³(内蒙古临河向日葵点),平均降低0.168 g/cm³,降幅为3.17%~24.26%,平均降幅10.88%;高用量处理降低0.06(甘肃高台点)~0.48 g/cm³(内蒙古临河向日葵点),平均降低0.229 g/cm³,降幅为4.76%~28.40%,平均降幅15.14%。与CK相比,低用量处理降低0.02(甘肃高台点)~0.40 g/cm³(内蒙古临河向日葵点、五原蜜瓜点),平均降低0.163 g/cm³,平均降幅11.12%;1个点差异不显著,9个点差异显著。高用量处理降低0.04(甘肃高台点)~0.47 g/cm³(内蒙古临河向日葵点),平均降低0.224 g/cm³,平均降幅15.28%,差异显著。高用量处理与低用量处理相比,4个点差异不显著,6个点差异显著,平均降低0.061 g/cm³,平

均降幅4.68%。说明增加调理剂用量对降低土壤容重有一定的影响。

2.1.2 不同处理对土壤耕作层水溶性盐的影响

从13个试验点的土壤水溶性盐总量测定结果可以看出,施用调理剂的处理均比本底值有所降低,而CK变化不明显(表3)。其中低用量处理降低0.18(甘肃临泽点)~2.10 g/kg(内蒙古临河向日葵点),平均降低0.827 g/kg,降幅为4.32%(甘肃高台点)~60.00%(辽宁大洼点),平均降幅27.16%;高用量处理降低0.20(内蒙古临河蜜瓜点)~2.20 g/kg(内蒙古临河向日葵点),平均降低0.907 g/kg,降幅为5.78%(甘肃临泽点)~80.00%(辽宁大洼点),平均降幅30.95%。与CK相比,低用量处理降低0.40(内蒙古五原向日葵点)~2.20 g/kg(内蒙古临河向日葵点),平均降低0.877 g/kg,降幅为2.93%(甘肃临泽点)~60.00%(辽宁大洼、内蒙古临河蜜瓜点),平均降幅26.84%;2个点差异不显著,11个点差异显著。高用量处理降低0.18(甘肃临泽点)~2.60 g/kg(内蒙古临河蜜瓜点),平均降低0.958 g/kg,降幅为4.40%(甘肃临泽点)~80.00%(辽宁大洼点),平均降幅30.89%,差异显著。高用量处理与低用量处理相比,4个点差异不显著,2个点大于低用量处理且差异显著,7个点小于低用量处理且差异显著,平均降低0.081 g/kg,平均降幅0.24%,效果不明显。说明增加调理剂用量对降低土壤水溶性盐总量影响不大。

2.1.3 不同处理对土壤耕作层pH的影响

施用调理剂可以降低土壤pH(表3)。施用调理剂的处理pH均比本底值有所降低,而CK变化不明显。其中低用量处理降低0.18(吉林前郭点)~1.31个单位(吉林洮北点),平均降低0.417个单位;高用量处理降低0.10(内蒙古五原向日葵点)~1.32个单位(吉林洮北点),平均降低0.452个单位。与CK相比,低用量处理降低0.06(甘肃高台点)~1.31个单位(吉林洮北点),平均降低0.451个单位;6个点差异不显著,7个点差异显著。与CK相比,高用量处理降低0.14(甘肃高台点)~1.32个单位(吉林洮北点),平均降低0.486个单位;3个点差异不显著,10个点差异显著。高用量处理与低用量处理相比,平均降低0.035个单位,11个点差异不显著,2个点差异显著。说明增加调理剂用量对降低土壤pH影响不大。

表 3 不同处理对土壤耕作层理化性状的影响

试验地点	处理	容重 (g/cm^3)		水溶性盐总量 (g/kg)		pH	
		本底值	试验后	本底值	试验后	本底值	试验后
辽宁大洼	低用量处理			1.0	0.4b	7.95	7.10a
	高用量处理			1.0	0.2a	7.95	7.05a
	CK			1.0	1.0c	7.95	7.93b
吉林洮北	低用量处理			5.0	4.0a	8.81	7.50a
	高用量处理			5.0	4.0a	8.81	7.49a
	CK			5.0	5.0b	8.81	8.81b
甘肃高台	低用量处理	1.26	1.22b	4.6	4.4b	8.54	8.28a
	高用量处理	1.26	1.20a	4.6	4.4a	8.54	8.20a
	CK	1.26	1.24b	4.6	4.6b	8.54	8.34a
甘肃临泽	低用量处理			4.2	4.0b	8.30	8.05b
	高用量处理			4.2	3.9a	8.30	7.92a
	CK			4.2	4.1b	8.30	8.16b
宁夏平罗	低用量处理	1.32	1.23b	3.6	2.3b	8.50	8.20ab
	高用量处理	1.32	1.11a	3.6	1.9a	8.50	8.00a
	CK	1.32	1.32c	3.6	3.4c	8.50	8.50b
吉林大安	低用量处理	1.46	1.37a	3.4	2.1a	9.34	9.01a
	高用量处理	1.46	1.34a	3.4	2.2a	9.34	9.14a
	CK	1.46	1.47b	3.4	3.4b	9.34	9.64b
吉林前郭	低用量处理	1.38	1.25b	3.4	2.7a	8.76	8.58ab
	高用量处理	1.38	1.19a	3.4	2.9b	8.76	8.34a
	CK	1.38	1.38c	3.4	3.3c	8.76	8.78b
黑龙江林甸	低用量处理	1.37	1.21a	1.9	1.3b	8.26	8.07b
	高用量处理	1.37	1.17a	1.9	1.1a	8.26	7.91a
	CK	1.37	1.38b	1.9	1.9c	8.26	8.25b
内蒙古五原	低用量处理	1.65	1.25a	4.9	4.2a	8.70	8.50a
	高用量处理	1.65	1.23a	4.9	4.2a	8.70	8.50a
	CK	1.65	1.65b	4.9	5.0b	8.70	8.70a
内蒙古临河	低用量处理	1.66	1.52b	2.6	2.0a	8.40	8.10a
	高用量处理	1.66	1.43a	2.6	2.4b	8.40	8.10a
	CK	1.66	1.63c	2.6	5.0c	8.40	8.80b
内蒙古五原	低用量处理	1.63	1.48b	3.0	2.2b	8.60	8.30a
	高用量处理	1.63	1.44a	3.0	1.7a	8.60	8.50ab
	CK	1.63	1.62c	3.0	2.6c	8.60	8.70b
内蒙古临河	低用量处理	1.69	1.28a	5.1	3.0a	8.60	8.20a
	高用量处理	1.69	1.21a	5.1	2.9a	8.60	8.20a
	CK	1.69	1.68b	5.1	5.2b	8.60	8.60b
甘肃靖远	低用量处理	1.29	1.22b	2.11	1.39b	8.45	7.90a
	高用量处理	1.29	1.10a	2.11	1.25a	8.45	7.98a
	CK	1.29	1.29c	2.11	1.99c	8.45	8.44b

注：表中各列字母表示各处理间 0.05 水平差异显著性，相同字母表示差异不显著。下同。

2.2 不同处理对作物生物学性状的影响

2.2.1 不同处理对水稻生物学性状的影响

施用调理剂促进了水稻的生长(表4)。成熟期测定水稻株高结果显示,与CK相比,低用量处理有4个点降低,但差异不显著,2个点株高显著增加,平均增加1.01%;高用量处理各点均有所增加,2个点差异不显著,4个点差异显著,平均增加6.24%。高用量处理与低用量处理相比,各点均有所增加,2个点差异不显著,4个点差异显著,平均增加4.68%。说明增加调理剂施用量,可以增加水稻株高。

施用调理剂增加了水稻穗粒数(表4)。成熟期5个点室内考种结果显示,与CK相比,低用量处理有1个点降低,但差异不显著,4个点增加,

其中1个点差异不显著,3个点差异显著,平均增加7.70%;高用量处理均有所增加,1个点差异不显著,4个点差异显著,平均增加8.14%。高用量处理与低用量处理相比,1个点显著降低,2个点显著增加,2个点差异不显著,平均增加1.19%,说明增加调理剂用量对穗粒数有一定影响。

施用调理剂增加了水稻千粒重(表4)。成熟期考种结果显示,与CK相比,低用量处理有2个点持平,2个点降低,2个点增加,平均增加0.16%,差异均不显著;高用量处理有1个点持平,2个点降低(差异不显著),3个点增加(2个点差异不显著,1个点差异显著),平均增加0.76%。高用量处理与低用量处理相比,差异不显著。说明施用调理剂对千粒重影响不大。

表4 不同处理对水稻生物学性状的影响

试验地点	处理	株高 (cm)	与 CK 差值 (cm)	穗粒数 (粒)	与 CK 差值 (粒)	千粒重 (g)	与 CK 差值 (g)
辽宁大洼	低用量处理	99.3ab	-0.4			25.2a	0.0
	高用量处理	102.3b	+2.6			25.5a	+0.3
	CK	99.7a				25.2a	
吉林洮北	低用量处理	75.7a	-0.3	92.8ab	+2.2	22.3a	-0.1
	高用量处理	89.0b	+13.0	93.7b	+3.2	22.2a	-0.2
	CK	76.0a		90.6a		22.4a	
宁夏平罗	低用量处理	103.5a	-2.1	140.5c	+27.2	23.5ab	+0.4
	高用量处理	107.1b	+1.5	123.3b	+10.0	23.9b	+0.9
	CK	105.6ab		113.3a		23.1a	
黑龙江林甸	低用量处理	98.9a	-1.4	99.0b	+4.0	22.1a	+0.2
	高用量处理	100.9a	+0.6	102.0c	+7.0	22.2a	+0.3
	CK	100.3a		95.0a		21.9a	
吉林大安	低用量处理	55.6b	+3.4	109.0b	+8.9	23.6a	-0.4
	高用量处理	58.0c	+5.8	120.0c	+19.9	23.8a	-0.2
	CK	52.2a		100.1a		24.0a	
吉林前郭	低用量处理	105.6b	+3.8	123.0a	-1.3	24.0a	0.0
	高用量处理	106.5b	+4.7	126.7a	+2.4	24.0a	0.0
	CK	101.8a		124.3a		24.0a	

另外,施用有机硅土壤调理剂的处理,在水稻生长中后期,群体长势好,植株整齐,叶色较深,稻瘟病较轻。吉林洮北试验点报告,施用有机硅土壤调理剂的处理,分蘖均比CK多,低用量处理多0.9个,高用量处理多0.7个。

2.2.2 不同处理对向日葵生物学性状的影响

施用调理剂促进了向日葵的生长(表5)。

成熟期测定结果显示,与CK相比,株高、茎粗、盘径、百粒重,低用量处理分别增加0.69%、12.53%、2.90%、0.05%;高用量处理分别增加4.06%、12.53%、5.55%、3.80%。高用量处理与低用量处理相比,分别增加3.28%、0.00%、2.06%、3.79%。说明施用调理剂可显著增加茎粗,但增加施用量,差异不显著。

表 5 不同处理对向日葵生物学性状的影响

试验地点	处理	株高 (cm)	与 CK 差值 (cm)	茎粗 (cm)	与 CK 差值 (cm)	盘径 (cm)	与 CK 差值 (cm)	百粒重 (g)	与 CK 差值 (g)
内蒙古 临河	低用量处理	200.0ab	+5.0	7.5b	+1.0	25.6b	+2.1	21.0ab	+0.3
	高用量处理	210.0b	+15.0	7.5b	+1.0	27.5c	+4.0	21.9b	+1.2
	CK	195.0a		6.5a		23.5a		20.7a	
内蒙古 五原	低用量处理	208.3a	-2.5	3.4b	+0.3	27.8a	-0.9	26.7a	-0.4
	高用量处理	211.7a	+0.9	3.4b	+0.3	27.0a	-1.7	27.6a	+0.5
	CK	210.8a		3.1a		28.7a		27.1a	

2.2.3 不同处理对玉米生物学性状的影响

施用调理剂促进了玉米的生长(表6)。成熟期测定结果及考种结果显示,与CK相比,株高、茎粗、穗粒数、千粒重,低用量处理分别增加1.46%、2.18%、3.47%、0.67%;高用量处理分别增加3.11%、6.55%、4.25%、2.51%。高用量处理与低用量处理相比,分别增加1.62%、4.27%、0.75%、1.82%。说明施用调理剂可显著增加穗粒数,但增加施用量,差异不显著。

表 6 不同处理对玉米生物学性状的影响

试验地点	处理	株高 (cm)	与 CK 差值 (cm)	茎粗 (cm)	与 CK 差值 (cm)	穗粒数 (粒)	与 CK 差值 (粒)	千粒重 (g)	与 CK 差值 (g)
甘肃 高台	低用量处理	270.8a	+3.9	2.34ab	+0.05	557.2b	+18.7	285.2a	+1.9
	高用量处理	275.2a	+8.3	2.44b	+0.15	561.4b	+22.9	290.4a	+7.1
	CK	266.9a		2.29a		538.5a		283.3a	

表 7 不同处理对甜菜生物学性状的影响

试验地点	处理	块根径 (cm)	与 CK 差值 (cm)	块根长 (cm)	与 CK 差值 (cm)	单块根重 (g)	与 CK 差值 (g)
甘肃临泽	低用量处理	12.22a	+0.22	22.66b	+0.68	1136b	+39
	高用量处理	12.05a	+0.05	23.08b	+1.10	1182c	+85
	CK	12.00a		21.98a		1097a	

2.2.5 不同处理对蜜瓜生物学性状的影响

表8显示,施用调理剂的处理单瓜重均优于CK,低用量处理增加2.78%,高用量处理增加6.75%。高用量处理与低用量处理相比,增加3.86%。说明增加调理剂施用量,可增加蜜瓜单瓜重。

2.3 不同处理对作物产量的影响

2.3.1 不同处理对水稻产量的影响

从图1可以看出,施用有机硅调理剂的处理均比CK增产,低用量处理增产286.5(辽宁大洼点)~1273.5 kg/hm²(吉林洮北点),平均增产640.3 kg/hm²,

2.2.4 不同处理对甜菜生物学性状的影响

表7显示,施用调理剂的处理生物学性状均优于CK,与CK相比,块根径、块根长、单块根重,低用量处理增加1.83%、3.09%、3.56%;高用量处理增加0.42%、5.00%、7.75%。高用量处理与低用量处理相比,分别增加-1.39%、1.85%、4.05%。说明施用调理剂可显著增加块根长、单块根重,但对块根径影响未达到显著水平。

表 8 不同处理对蜜瓜生物学性状的影响

试验地点	处理	单瓜重 (g)	与 CK 差值 (g)
内蒙古五原	低用量处理	2590a	+70
	高用量处理	2690b	+170
	CK	2520a	

增幅为2.97%~28.9%,平均增幅达10.90%;与CK相比,6个点差异均显著。高用量处理增产463.2(宁夏平罗点)~1489.5 kg/hm²(吉林前郭

点), 平均增产 899.7 kg/hm², 增幅 5.47% (宁夏平罗点) ~ 30.63% (吉林洮北点), 平均增幅达 14.82%; 与 CK 相比, 6 个点差异均显著。高用量

与低用量相比, 3 个点差异不显著, 3 个点差异显著, 平均增产 3.53%。说明增加调理剂施用量可提高水稻产量。

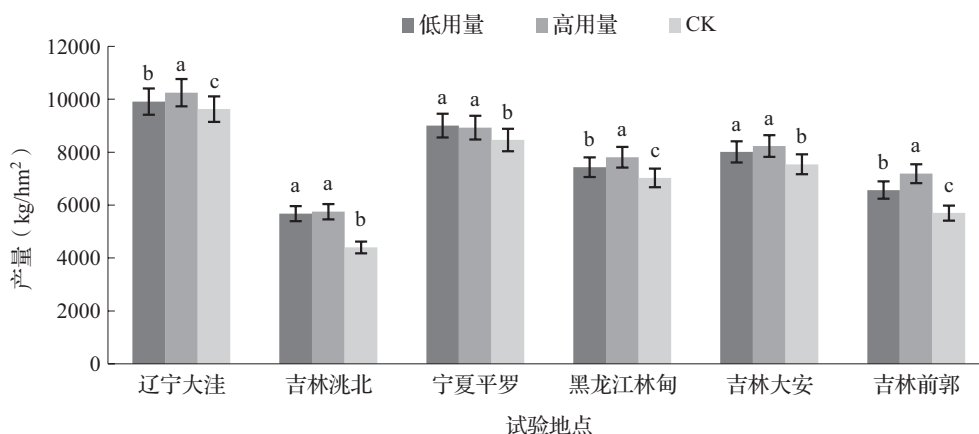


图1 不同处理对水稻产量的影响

注: 图中柱上字母表示各处理间 0.05 水平差异显著性, 具有相同字母表示差异不显著。下同。

2.3.2 不同处理对玉米产量的影响

图2显示, 施用调理剂的处理均比CK增产, 低用量处理增产 438.0 kg/hm², 增产率 4.09%, 高用量处理增产 724.5 kg/hm², 增产率 6.77%。与CK相比, 差异显著。高用量处理与低用量处理相比, 差异不显著。

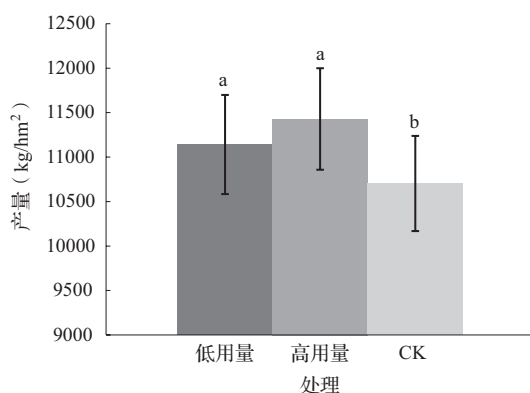


图2 不同处理对玉米产量的影响 (甘肃高台)

2.3.3 不同处理对向日葵产量的影响

从图3可以看出, 施用调理剂的处理均比CK增产, 低用量处理增产 184.5 ~ 336.0 kg/hm², 平均增产 260.3 kg/hm², 增幅 4.60% ~ 7.82%, 平均增幅达 6.21%; 与CK相比, 2 个点差异均显著。高用量处理增产 361.5 ~ 610.5 kg/hm², 平均增产 486.0 kg/hm², 增幅 9.01% ~ 14.21%, 平均增幅达

11.61%; 与CK相比, 2 个点差异均显著。高用量处理与低用量处理相比, 1 个点差异不显著, 1 个点差异显著, 平均增产 5.07%。说明增加调理剂施用量可提高向日葵产量。

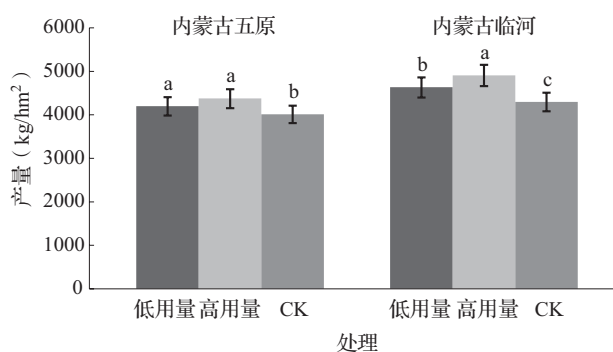


图3 不同处理对向日葵产量的影响

2.3.4 不同处理对蜜瓜产量的影响

从图4可以看出, 施用调理剂的处理均比CK增产, 低用量处理增产 1042.5 ~ 4066.5 kg/hm², 平均增产 2554.5 kg/hm², 增幅 2.91% ~ 10.04%, 平均增幅达 6.48%; 与CK相比, 2 个点差异均显著。高用量处理增产 2506.5 ~ 4503.0 kg/hm², 平均增产 3504.8 kg/hm², 增幅 7.00% ~ 11.11%, 平均增幅达 9.06%; 与CK相比, 2 个点差异都显著。高用量处理与低用量处理相比, 2 个点差异都不显著。

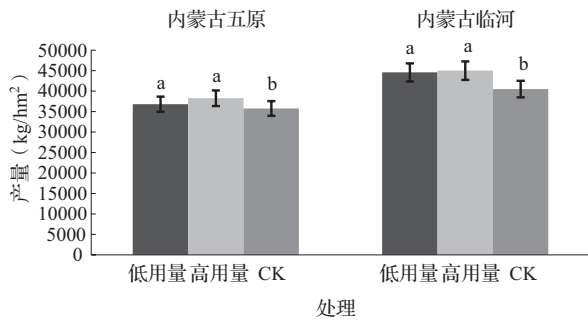


图4 不同处理对蜜瓜产量的影响

2.3.5 不同处理对甜菜产量的影响

图5显示,施用调理剂的处理均比CK增产,低用量处理增产2982.0 kg/hm²,增产率3.55%,差异显著;高用量处理增产6507.0 kg/hm²,增产率7.75%,差异显著。高用量处理与低用量处理相比,差异不显著。

2.3.6 不同处理对苹果产量及品质的影响

图6显示,施用调理剂的处理均比CK增产,低用量处理增产2715.0 kg/hm²,增产率8.89%,差异显著;高用量处理增产3310.5 kg/hm²,增产率10.85%,差异显著。高用量处理与低用量处理相比,差异不显著。

另外,施用有机硅调理剂后,苹果的外观、品质均较CK有较大改善。详见表9。

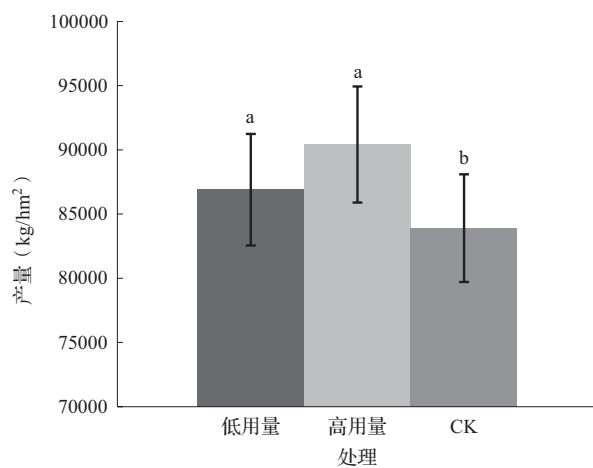


图5 不同处理对甜菜产量的影响(甘肃临泽)

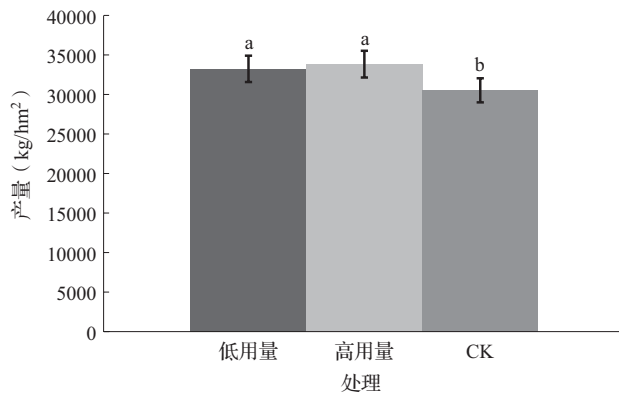


图6 不同处理对苹果产量的影响(甘肃靖远)

表9 不同处理对苹果品质的影响

试验地点	处理	≥ 80# (%)	与 CK 差值 (%)	果形	与 CK 差值 (%)	含糖量 (%)	与 CK 差值 (%)	酸度 (%)	与 CK 差值 (%)
甘肃	低用量处理	58.5	+3.2	0.84	+0.03	14.6	+0.4	0.38	-0.02
靖远	高用量处理	61.3	+6.0	0.86	+0.05	14.9	+0.7	0.36	-0.04
	CK	55.3		0.81		14.2		0.40	

3 讨论

在田间试验条件下,研究了有机硅土壤调理剂配施有机硅功能肥对不同类型盐碱土壤耕层容重、水溶性盐总量、pH 及水稻、玉米、向日葵、蜜瓜、甜菜、苹果等作物(瓜果)生物学性状、产量的影响。

3.1 有机硅产品对土壤耕作层容重的影响

本研究条件下,与本底值相比,土壤容重降低3.17%~28.4%(表3)。这可能是因为有机硅产品中的有机硅高分子化合物含有多个Si-O键和O-H基团,O-H基团的活泼H在一定条件下很容易发

生缩合反应,可以将硅网结构接到线性聚合物主链上,生成网状结构的高分子化合物,使有机硅分子形成多个吸附位点,依靠多点吸附包络作用破坏土壤颗粒的动力学稳定性。活性基团将土壤中细小颗粒脱稳吸附在胶体或微粒表面,再通过有机硅高分子化合物的长链将凝聚脱稳微粒吸附架桥,提高有机硅使土壤团粒化的效率,促进土壤形成团聚体,显著改善耕层土壤物理性状,降低土壤容重。结果与王倩^[27]硅酸盐增加土壤的孔隙度,降低土壤容重的研究结果一致。另外,调理剂含有的腐植酸有机胶体与土壤中的Ca²⁺结合形成絮状黏胶,能把土

粒胶结起来,增加土壤水稳性团粒结构,降低土壤容重,这与顾鑫等^[28]腐植酸显著降低土壤体积质量的研究结果一致。

3.2 有机硅产品对土壤耕作层水溶性盐总量的影响

本研究条件下,与本底值相比,耕作层水溶性盐总量降低 4.32% ~ 80.00% (表 3)。土壤板结是盐碱土壤主要障碍性因子之一,板结土壤的毛细管较细,含盐的地下水上升速度较快,高度也高。施用有机硅产品后,土壤容重降低,土壤疏松,孔隙度增加,耕作层团粒结构更趋合理,土壤通透性增强,毛细管结构得到改善,含盐地下水攀升受阻,降低了耕作层次生盐渍化程度;同时灌溉水或雨水容易下渗,带动盐分下移,降低耕作层盐分浓度。另一方面,有机硅土壤调理剂中的腐植酸是一种带负电的胶体,能够增加土壤阳离子吸附量,提高土壤盐分淋洗量和排盐效率,降低盐分含量。这与袁英等^[29]、黄瑞瑞^[30]研究结果一致。

3.3 有机硅产品对土壤耕作层酸碱度的影响

本研究条件下,与本底值相比,土壤 pH 降低 0.10 ~ 1.32 个单位 (表 3)。一方面,这可能是因为有机硅产品中的有机硅是两性物质,具有超强的缓冲性,可以调节土壤 pH 值,这与蔡德龙^[24]研究结果一致。另一方面,调理剂含有的腐植酸是弱酸,是大分子有机两性物质,其酸性功能团释放出 H^+ 可与土壤中碱性物质发生中和反应生成 H_2O ,降低土壤碱度。腐植酸中的醛基、羧基等功能团与土壤中各种阳离子结合生成腐植酸盐,形成腐植酸-腐植酸盐相互转化的缓冲系统,从而调节土壤酸碱度。这与杨焱^[31]、Sarwar 等^[32]研究结果一致。

3.4 有机硅产品对作物产量的影响

本研究条件下,施用有机硅土壤调理剂+有机硅功能肥,显著提高作物(瓜果)产量。与常规施肥相比,显著提高水稻产量 2.97% ~ 30.63%,显著提高玉米产量 4.09% ~ 6.77%,显著提高向日葵产量 4.60% ~ 14.21%,显著提高蜜瓜产量 2.91% ~ 11.11%,显著提高苹果产量 8.89% ~ 10.85%,显著提高甜菜产量 3.55% ~ 7.75%。其机制首先是调理剂改善了盐碱地理化性状,土壤盐分、pH、容重降低,土壤水肥气热协调^[33],微生物代谢旺盛,为作物根系生长创造了良好的环境^[34]。其次,调理剂中的硅和腐植酸促进了作物生长,产量因子得

到提升。与常规施肥相比,水稻的穗粒数增加 7.7% ~ 8.14%、千粒重增加 0.16% ~ 0.76% (表 4),结果与商全玉等^[35]、王茂辉等^[36]对硅肥的研究、胡志华等^[37]对硅肥、腐植酸的研究、孙克刚等^[38]对腐植酸的研究结果一致。玉米株高、茎粗、穗粒数、千粒重分别增加 1.46% ~ 3.11%、2.18% ~ 6.55%、3.47% ~ 4.25%、0.67% ~ 2.51% (表 6),结果与田平等^[39]对硅肥的研究、郝青等^[40]对腐植酸的研究结果一致。向日葵株高、茎粗、盘径、百粒重分别增加 0.69% ~ 4.06%、12.53%、2.90% ~ 5.55%、0.05% ~ 3.80% (表 5),这与祁建勋等^[41-42]研究结果一致。杨发文等^[43]、朱从桦等^[44]、黄衡亮等^[45]、祁建勋等^[41-42]、张亚建等^[46]研究指出,硅肥促进了作物(苹果树)对养分的吸收,最终提高了产量。另外,有机硅还有可能通过对作物生理生化性状的调节,提高作物耐盐碱性和缓解水分胁迫及其他抗逆性。刘铎等^[47]报道,在盐碱胁迫下外源硅能增加植物的叶绿素含量,改善光合作用,提高植物抗氧活性,减少活性氧的过多积累,促进植物相关渗透调节物质合成,促进植物矿质营养元素平衡,从而达到提高植物耐盐碱性的目的。林少雯等^[48]研究表明,在同一水分处理条件下随着施用硅素的增加,玉米株高、叶面积、茎粗、根系长度、根系活力、叶绿素含量均有不同程度的增加,而丙二醛含量以及脯氨酸含量有不同程度的减小,表明施用硅素可以缓解玉米水分胁迫的逆境。龚金龙等^[49]报道,硅通过物理途径或生理生化途径增强水稻对重金属、盐渍、干旱、紫外线、高温、倒伏等非生物胁迫以及病虫害生物胁迫的抵抗力。

4 结论

有机硅产品可改善盐碱土壤理化性状,降低土壤容重、水溶性盐分、pH,促进作物生长,改善作物生物学性状,提高产量,是一项治理盐碱土壤的新技术。

参考文献:

- [1] 张博. 北方滨海盐土高效改良技术研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2013.
- [2] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望 [J]. 土壤学报, 2008, 45 (5): 837-845.
- [3] 王遵亲. 中国盐渍土 [M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [4] Parida Kumar A, Das Bandhu A. Salt tolerance and salinity

- effects on plants: a review [J]. *Ecotoxicology & Environmental Safety*, 2005, 60 (3): 324–349.
- [5] 张建锋, 张旭东, 周金星, 等. 世界盐碱地资源及其改良利用的基本措施 [J]. *水土保持研究*, 2005, 12 (6): 28–30.
- [6] 俞仁培, 陈得明. 我国盐渍土资源及其开发利用 [J]. *土壤通报*, 1999, 30 (4): 158–159, 177.
- [7] 张翼夫, 李问盈, 胡红, 等. 盐碱地改良研究现状及展望 [J]. *江苏农业科学*, 2017, 45 (18): 7–10.
- [8] 张强, 赵文娟, 陈卫峰, 等. 盐碱地修复与保育研究进展 [J]. *天津农业科学*, 2018, 24 (4): 65–70.
- [9] 孙建书, 余美. 不同灌排模式下土壤盐分动态模拟与评价 [J]. *干旱地区农业研究*, 2011, 29 (4): 157–163.
- [10] 张亚年, 李静. 暗管排水条件下土壤盐运移特征试验研究 [J]. *人民长江*, 2011, 42 (22): 70–72, 88.
- [11] 逢焕成, 李玉义. 西北沿黄灌区盐碱地改良与利用 [M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [12] Winicov I. Alfin 1 transcription factor overexpression enhances plant root growth under normal and saline conditions and improves salt tolerance in alfalfa [J]. *Planta*, 2000, 210 (3): 416–422.
- [13] Abe H, Yamaguchishinozaki K, Urao T, et al. Role of Arabidopsis MYC and MYB homologs in drought -and abscisic acid-regulated gene expression [J]. *Plant Cell*, 1997, 9 (10): 1859–68.
- [14] Lippuner V, Cyert M S, Gasser C S. Two classes of plant cDNA clones differentially complement yeast calcineurin mutants and increase salt tolerance of wild-type yeast [J]. *Journal of Biological Chemistry*, 1996, 271 (22): 12859–12866.
- [15] Shi H, Ishitani M, Kim C, et al. The Arabidopsis thaliana salt tolerance gene SOS1 encodes a putative Na⁺/H⁺ antiporter [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2000, 97 (12): 6896–6901.
- [16] 任丽丽, 任春明, 赵自国. 植物耐盐性研究进展 [J]. *山西农业科学*, 2010, 38 (5): 87–90.
- [17] 陈义群, 董元华. 土壤改良剂的研究与应用进展 [J]. *生态环境*, 2008, 17 (3): 1282–1289.
- [18] 李茜, 孙兆军, 秦萍. 宁夏盐碱地现状及改良措施综述 [J]. *安徽农业科学*, 2007, 35 (33): 10808–10810, 10813.
- [19] 刘阳春, 何文寿, 何进智, 等. 盐碱地改良利用研究进展 [J]. *农业科学研究*, 2007, 28 (2): 68–71.
- [20] 孙蓓蓓, 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.
- [21] 龙明杰, 曾繁森. 高聚物土壤改良剂的研究进展 [J]. *土壤通报*, 2000, 31 (5): 199–202.
- [22] 贾国涛, 顾会战, 许自成, 等. 作物硅素营养研究进展 [J]. *山东农业科学*, 2016, 48 (5): 153–158.
- [23] 饶震红, 杜凤沛, 李向东. 硅对农作物生长的影响 [J]. *化学教育*, 2019, 40 (13): 1–9.
- [24] 蔡德龙. 国内外硅肥研究与应用进展 [J]. *磷肥与复肥*, 2017, 32 (1): 37–39.
- [25] 宋福如. 有机硅水溶长效复合肥及制备方法: 中国, CN102584471A [P]. 2012–07–18.
- [26] 全国农业技术推广服务中心. 土壤分析技术规范 (第2版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2009.
- [27] 王倩. 硅酸盐矿物对滨海盐碱土改良作用及机理研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2019.
- [28] 顾鑫, 任翠梅, 杨丽, 等. 煤炭腐植酸对土壤物理性状及玉米生长发育的影响 [J]. *灌溉排水学报*, 2019, 38 (1): 26–30.
- [29] 袁英, 何小松, 席北斗, 等. 腐殖质氧化还原和电子转移特性研究进展 [J]. *环境化学*, 2014, 33 (12): 2048–2057.
- [30] 黄瑞瑞. 腐植酸对滨海粘质盐土脱盐效果的影响 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2019.
- [31] 杨滇. 腐植酸大小分子氧化还原能力及其氧化还原官能团的分布研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2016.
- [32] Sarwar G, Ibrahim M, Tahir M A, et al. Effect of compost and gypsum application on the chemical properties and fertility status of saline-sodic soil [J]. *Korean Journal of Soil Science & Fertilizer*, 2011, 44 (3): 510–516.
- [33] 马祥华, 焦菊英, 温仲明, 等. 黄土丘陵沟壑区退耕地植被恢复中土壤物理特性变化研究 [J]. *水土保持研究*, 2005, 12 (1): 17–21.
- [34] Peterson D E. Management effects on soil physical properties in long-term tillage studies in Kansas [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2006, 70 (2): 434–438.
- [35] 商全玉, 张文忠, 韩亚东, 等. 硅肥对北方粳稻产量和品质的影响 [J]. *中国水稻科学*, 2009, 23 (6): 661–664.
- [36] 王茂辉, 聂金泉, 任勇, 等. 不同硅肥用量对水稻生长的影响研究 [J]. *广东农业科学*, 2020, 47 (2): 61–67.
- [37] 胡志华, 徐小林, 李大明, 等. 土壤改良剂对中稻-再生稻产量与氮肥利用的影响 [J]. *华北农学报*, 2020, 35 (1): 114–121.
- [38] 孙克刚, 和爱玲, 杜君, 等. 腐植酸有机肥在水稻上的增产效果研究 [J]. *腐植酸*, 2015 (6): 15–20.
- [39] 田平, 马立婷, 逢焕成, 等. 硅肥对玉米和大豆光合特性及产量形成的影响 [J]. *作物杂志*, 2015 (6): 136–140.
- [40] 郝青, 梁亚勤, 刘二保. 腐植酸复混肥对玉米产量及土壤肥力的影响 [J]. *山西农业科学*, 2012, 40 (8): 853–856.
- [41] 祁建勋, 张润生. 施不同量硅肥对向日葵产量及品质的影响 [J]. *内蒙古农业大学学报 (自然科学版)*, 2020 (1): 14–18.
- [42] 祁建勋. 几种新型肥料对向日葵生理特性及产质量影响的研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017.
- [43] 杨发文, 黄衡亮, 宋福如, 等. 有机硅改性复合肥防治水稻镉污染的效果和初步机制 [J]. *核农学报*, 2020, 34 (2): 425–432.
- [44] 朱从桦, 李其勇, 程明军, 等. 氮磷钾减量配施硅肥对玉米养分吸收、利用及产量的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2018 (1): 56–63.

- [45] 黄衡亮, 杨发文, 宋福如, 等. 有机硅改性复合肥对玉米养分和镉吸收的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2019 (1): 156–163.
- [46] 张亚建, 武阿锋, 刘存寿, 等. 不同硅肥处理对苹果树硅及其他中微量元素吸收的影响 [J]. 西北农业学报, 2013, 22 (10): 126–130.
- [47] 刘铎, 白爽, 李平, 等. 硅调控植物耐盐碱机制研究进展 [J]. 麦类作物学报, 2019, 39 (12): 1507–1513.
- [48] 林少雯, 刘树堂, 隋凯强, 等. 水分胁迫下硅素对玉米苗期生理生化性状的影响 [J]. 华北农学报, 2018, 33 (1): 160–167.
- [49] 龚金龙, 张洪程, 龙厚元, 等. 水稻中硅的营养功能及生理机制的研究进展 [J]. 植物生理学报, 2012, 48 (1): 1–10.

Preliminary study on the treatment of saline alkali soil with organosilicon-containing soil conditioner

SONG Fu-ru¹, SONG Li-qiang¹, CAO Zi-ku^{2*}, SONG Zhi-qiang¹, SONG Ju-qiang¹, ZHANG Hong-jun¹, NIE Hong-min¹, WANG Jun-sheng² (1. Hebei Silicon Valley Academy of Agricultural Sciences, Handan Hebei 057151; 2. Agricultural and Rural Bureau of Yongnian District, Handan Hebei 057150)

Abstract: Organosilicon-containing soil conditioner is a new type of fertilizer, which has the function of improving saline alkali soil and promoting crop growth. It is of great significance for the popularizing of new fertilizers to study the effects of this new type of fertilizer on physical and chemical properties of saline alkali soil and biological properties of crops. Field experiments with 13 plots were carried out on 6 main crops of different types of typical saline alkali soil in 11 counties involving 6 provinces of China from 2018 to 2019. In these plot experiments, the effects of organosilicon-containing soil conditioner on physical and chemical properties of saline alkali soil, biological properties of crops and yields were studied. The results showed that compared with the background values, the application of organosilicon-containing soil conditioner reduced the bulk density of the plough layer by 3.17% ~ 28.40%, the total amount of water-soluble salt in the plough layer by 4.32% ~ 80.00%, and the pH of the plough layer by 0.10 ~ 1.32. Compared with the common compound fertilizer, the application of organosilicon-containing soil conditioner increased the plant height, grain number per ear, 1000 grain weight of rice and corn, plant height, stem diameter, disk diameter, 100 grain weight of sunflower, single root weight of beet and single melon weight of honeydew melon. The application of organosilicon-containing soil conditioner also significantly increased the yields of rice by 2.97% ~ 30.63%, the yields of corn by 4.09% ~ 6.77%, the yields of sunflower by 4.60% ~ 14.21%, the yields of melon by 2.91% ~ 11.11%, the yields of apple by 8.89% ~ 10.85%, and the yields of beet by 3.55% ~ 7.75%. All the results showed that the application of organosilicon-containing soil conditioner can improve the physical and chemical properties of saline alkali soil, improve the biological properties of crops, and increase the yield, which is a new technology for the treatment of saline alkali soil.

Key words: organosilicon; soil conditioner; saline alkali soil; crop