

## 重度盐渍化土壤灌溉碱性淡水与施用改良剂效果研究

邵玉翠<sup>1</sup>,任顺荣<sup>1</sup>,廉晓娟<sup>1</sup>,曾秀文<sup>2</sup>,贺宏达<sup>1</sup>,宿晓东<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>天津市农业资源与环境研究所,天津 300192;<sup>2</sup>天津市华侨农业技术开发公司,天津 300074)

**摘要:**利用脱硫石膏有机活性改良剂结合碱性淡水淋盐的研究,以达到改良盐碱地、脱硫废弃物及水资源有效利用的目的。采用2因素3水平组合设计,3个灌水量,3个改良剂施用量,3次重复。结果表明:灌水量525 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>、750 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>土壤全盐量由1.72%分别降至0.48%~0.64%、0.4%~0.6%。施用改良剂与对照相比,土壤ESP、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>和K<sup>+</sup>+Na<sup>+</sup>分别下降了2.83%~26.44%、9.13%~43.47%、19.6%~29.9%和11.8%~33.2%。土壤SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>与Ca<sup>2+</sup>分别增加了10.36%~58.22%和0.68%~62.24%。灌水淋洗可以使重度盐渍化土壤迅速脱盐,施用改良剂能够改变土壤盐分组成,降低土壤碱性。从节水、土壤盐分积累综合分析,灌水量525 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>能够将土壤中大部盐分淋洗掉,为避免土壤全盐量过多积累,改良剂施用量以3000 kg/hm<sup>2</sup>为宜。

**关键词:**重盐渍化土壤;土壤改良;改良剂;碱性淡水;灌水量

中图分类号:S156.2

文献标识码:A

论文编号:2009-0874

### Effect of Alkaline Freshwater Irrigation and Amendment Application on Heavily Salinized Soil

Shao Yucui<sup>1</sup>, Ren Shunrong<sup>1</sup>, Lian Xiaojuan<sup>1</sup>, Zeng Xiuwen<sup>2</sup>, He Hongda<sup>1</sup>, Su Xiaodong<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Tianjin Institute of Agriculture Resources and Environment, Tianjin 300192;

<sup>2</sup>Tianjin Overseas Agriculture Technology Development Co., Ltd, Tianjin 300074)

**Abstract:** The study which combined desulfurized gypsum with alkaline freshwater irrigation was arranged to improve salinized soil, recycle desulfurized waste and save water resource. The experiment was designed with two factors and three levels, three irrigation amounts, three amendments application rates and three replicates. The results showed that the soil salt content was decreased from 1.72% to 0.48%~0.64% and 0.40%~0.60% for irrigation with 525 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> and 750 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> water, respectively. Compared with the control treatment, the soil ESP, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, K<sup>+</sup>, and Na<sup>+</sup> of amendment treatments were reduced by 2.83%~26.44%, 9.13%~43.47%, 19.60%~29.90%, and 11.80%~33.20%, respectively. However, soil SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and Ca<sup>2+</sup> were increased by 10.36%~58.22% and 0.68%~62.24%, respectively. The irrigation could enhance salt leaching significantly and amendment could modify soil salt components and decreased soil alkalization. Irrigation with 525 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> water and application of amendment at 3000 kg/km<sup>2</sup> were recommended in order to save water and alleviate soil salt accumulation.

**Key words:** heavily salinized soil, soil improvement, amendment, alkaline freshwater, irrigation amount

### 0 引言

盐渍土是地球上广泛分布的一种土壤类型,是一种重要的土地资源<sup>[1]</sup>。在中国沿1.8万多公里的海岸

带上盐渍化土壤为99.13万km<sup>2</sup>。天津地区主要土壤类型为盐化潮土,盐渍化土壤的耕地面积19.61万hm<sup>2</sup>,约占天津耕地总面积的41.24%。据天津市30年

**基金项目:**天津市政府与日本东京大学合作天津市农业重点项目“脱硫石膏改良盐碱地技术开发研究与示范”(0504160)。

**第一作者简介:**邵玉翠,女,1957年出生,天津人,本科,副研究员,从事盐碱地土壤改良和植物营养研究工作。通信地址:300192天津市南开区航天道268号, Tel: 022-27950330, E-mail: shaoyucui186@sohu.com。

**收稿日期:**2009-04-27, **修回日期:**2009-06-03。

气象资料统计,天津市年平均降雨量 500 mm,全市人均水资源量仅 160 m<sup>3</sup>,水资源严重匮乏。目前国内外的土壤盐碱改良剂品种繁多,不同改良剂的性质、组成、作用机理及在不同土壤类型上的施用效果相差较大<sup>[2]</sup>。笔者依据天津自然条件状况,对重盐渍化土壤采取灌水洗盐、增施土壤改良剂综合措施,以达到脱盐治碱的效果。笔者采用的改良剂是经过大量的试验研究筛选出的配方,该改良剂配方已申请了国家发明专利。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验时间与地点

试验于 2008 年 5—8 月在天津市农业资源与环境研究所盆栽试验区进行。

### 1.2 材 料

1.2.1 供试土壤理化特性 供试土壤取自天津市大港区盐生植物园,其特性是由于受马厂减河水系的影响地表层淤积一层厚薄不一的红土、砂壤土两合土。土壤类型为砂壤质浅位薄层加粘重碳酸盐氯化物盐化潮土,地下水位埋深 200~250 cm,地下水矿化度 12.5 g/L。土壤物理性质,土壤容重(0~5 cm) 1.38 g/cm<sup>3</sup>,土壤总孔隙度 47.10%,毛管孔隙度 32.40%,非毛管孔隙度 14.70%。基础土壤的化学性质见表 1。

1.2.2 试验灌溉水 试验用灌溉水为天津市西青区农科院西院深井水,水质分析结果为碱性淡水。剩余碳酸钠超出了灌溉标准,如果长期灌溉容易造成土壤次生碱化,水质分析结果见表 2。

表 1 基础土壤化学性质

全盐/%	ESP/%	交换性 Na <sup>+</sup> /(cmol/kg)	pH	阴离子/(mmol/kg)				阳离子/(mmol/kg)		
				CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup> +Na <sup>+</sup>
1.72	11.54	1.33	7.56	0.00	2.12	181.74	2.20	69.84	66.00	90.22

表 2 盆栽灌溉水的化学性质

总碱度/(mmol/kg)	盐度/(g/L)	pH	碱量(AP)/%	残余碳酸钠(RSC)/(mmol/kg)	易溶性钠(SSP)/%	钠与钙镁比(SDR)
1.74	0.60	8.50	59.39	1.39	87.97	7.31

1.2.3 改良剂材料 试验用改良剂主要材料采用煤燃烧利用过程中,为了减少 SO<sub>2</sub> 的排放,对烟气进行脱硫,生成的一种脱硫副产物。主要成分与天然石膏相同为 2 水硫酸钙 CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O<sup>[3]</sup>,经过洗涤和滤水处理的烟气脱硫石膏含有 10%~20%游离水,颗粒细小松散均匀,粒径 30~60 μm,纯度 90%~95%,含碱量低,有害杂质少<sup>[4]</sup>。通过添加天然腐殖酸类物质,天然有机类物质及生物活性类物质制成的富含钙硫的有机活性土壤改良剂。自 2005 年以来,经过 3 年不同土壤质地、不同含盐量、不同作物进行了大量的田间试验,筛选出的改良剂用于 2008 年的盆栽试验。

### 1.3 方 法

试验采取盆栽的方法,试验设计采取 2 因素 3 水平组合设计。3 个灌水量,分别为 150 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>、525 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>、750 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>; 3 个改良剂施用量,分别为 1500 kg/hm<sup>2</sup>、3000 kg/hm<sup>2</sup>、4500 kg/hm<sup>2</sup>,以不施改良剂为对照(CK)。试验设为 12 个处理,3 次重复,共 36 盆。土壤通过 2 mm 筛后装盆,每盆土壤重量 4 kg。改良剂施用方法:将改良剂均匀地撒在盆内的土壤表层,然后将改良剂与 0~10 cm 土壤充分混匀、每盆加入 500 ml 清水保持土壤潮湿,使改良剂与土壤充分作用。搁置 4~5 天后,进行灌水洗盐。7 天后进行播种,试验作物油菜“傲绿 101”由天津市科润种子公司提供。

测定方法:将采取的土样过 1 mm 筛,按 1:5 土水比与去除 CO<sub>2</sub> 的蒸馏水混合,振荡、过滤,滤液为待测液。可溶性盐测定:CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>和 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>采用双指示剂滴定法测定;Cl<sup>-</sup>采用 AgNO<sub>3</sub> 滴定法测定;SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>采用 EDTA 回滴法测定;Ca<sup>2+</sup>和 Mg<sup>2+</sup>采用 EDTA 滴定法测定;K<sup>+</sup>和 Na<sup>+</sup>由差减法计算;pH 用 MicroBench pH 酸度计测定。CEC 采用醋酸铵法浸提,用 KjeltacTM 2300 定氮仪蒸馏;交换性 Na<sup>+</sup>采用醋酸铵-氢氧化铵混合液浸提,用 FP640 火焰光度计测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 施用改良剂与灌水对土壤全盐量的影响

从图 1 可以看出,土壤全盐量随灌水量、改良剂施用量的变化而变化。在灌水量 150 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>条件下,不施改良剂处理土壤全盐量为 1.9%,高于基础土壤全盐量的 1.72%;改良剂施用量 1500 kg/hm<sup>2</sup>,土壤全盐量比基础土壤降低了 21.99%;改良剂用量 3000 kg/hm<sup>2</sup>,土壤全盐量降低了 16.22%,改良剂用量 4500 kg/hm<sup>2</sup>,土壤全盐量降低了 8.18%。灌水量 525 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,不施改良剂处理的土壤全盐量降至 0.48%,比基础土壤降低了 2.58 倍。施用改良剂 1500 kg/hm<sup>2</sup>、3000 kg/hm<sup>2</sup> 和 4500 kg/hm<sup>2</sup> 的土壤全盐量分别为 0.52%、0.59%、0.64%,比基础土壤分别降低了 2.31 倍、1.91 倍、1.69 倍。灌水量 750 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>、不施改良剂处理的土壤全盐

量降至0.44%比基础土壤降低了2.91倍,施用改良剂1500 kg/hm<sup>2</sup>、3000 kg/hm<sup>2</sup>和4500 kg/hm<sup>2</sup>土壤全盐量分别为0.44%、0.51%、0.56%,比基础土壤分别降低了2.91倍、2.37倍、2.07倍。试验结果表明:灌水量150 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>的土壤全盐量明显高于灌水量525 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>和750 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>土壤全盐量。施用一定量的改良剂,采用灌水量525 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>和750 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>对土壤淋洗,土壤脱盐效果明显,灌水量越大土壤降盐越明显<sup>[5]</sup>。但是,天津地区水资源严重缺乏,为了高效合理利用水资源,灌水量525 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>已经能够将土壤中大部分盐分淋洗掉,与750 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>处理相比效果差距不大,而且比灌水量750 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>节水42.9%。随着改良剂施用量的增加,土壤盐分有累积的趋势,因此,改良剂施用量并非越多越好。这与高玉山等研究结果是一致的<sup>[6-7]</sup>。施用量

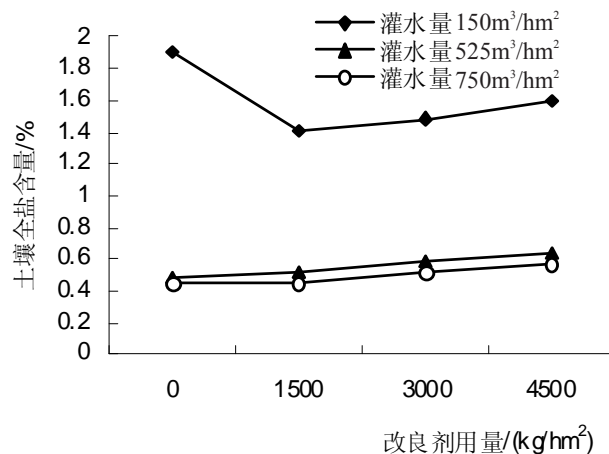


图1 改良剂与灌水对土壤全盐量影响

在同一灌水量条件下,随着改良剂施用量的增加土壤碱化度降低。土壤碱化度的变化与改良剂施用量呈负相关关系,相关系数分别为 $R^2=-0.9699$ 、 $R^2=-0.7360$ 、 $R^2=-0.8887$ 。结果综合分析:灌溉大量碱性淡水能够使重盐渍化土壤迅速脱盐,但也会引起土壤碱化<sup>[9]</sup>。施用富钙硫有机活性土壤改良剂能够改变土壤交换性Na<sup>+</sup>的含量,降低土壤碱化度,增加土壤中中性盐类<sup>[10]</sup>。

### 2.3 施用改良剂与灌水对土壤HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>的影响

从图3可以看出,灌溉碱性淡水使土壤HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>离子随灌水量的增加而增加,土壤中HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>含量与灌水量呈正相关关系,相关系数分别为 $R^2=0.8917$ 、 $R^2=0.9004$ 、 $R^2=0.9006$ 。当施用了富钙硫有机活性土壤改良剂,土壤HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>离子则随施用量增加而减少,土壤中HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>含量与改良剂施用量呈负相关关系,相关系数分别为 $R^2=-0.8352$ 、 $R^2=-0.9656$ 、 $R^2=-0.8409$ 。HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>含量随着改良剂的添加而减少,说明碳酸氢盐类随着改良剂的加入逐渐向中性可溶盐硫酸盐转化,表明施用改良剂

的富钙硫有机活性土壤改良剂,能增加土壤有机类活性物质,也改变了土壤中分盐离子组成。为了避免土壤盐分过多积累,改良剂施用量3000 kg/hm<sup>2</sup>、灌水量525 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>为适宜用量。

### 2.2 施用改良剂与灌水对土壤碱化度(ESP)的影响

土壤碱化度与土壤化学性质及灌溉水的化学性质、pH有关。试验用水为碱性淡水,化学性质见表2,水的残余碳酸钠含量超出了安全灌溉用水标准。如果长期灌溉,不采取相应的改良措施,会导致苏打累积,累积数量取决于灌溉水中的残余碳酸钠的含量<sup>[8]</sup>。从图2可以看出,灌水量为150 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>不施改良剂的处理,土壤碱化度为8.72%;灌水量为525 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>土壤碱化度为13.5%;灌水量为750 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>土壤碱化度为11.0%。

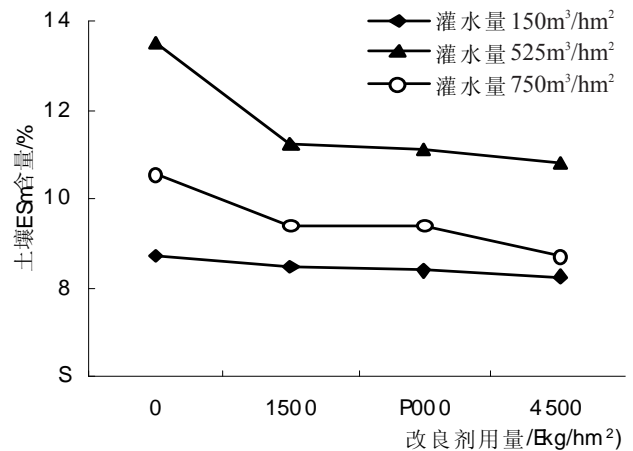
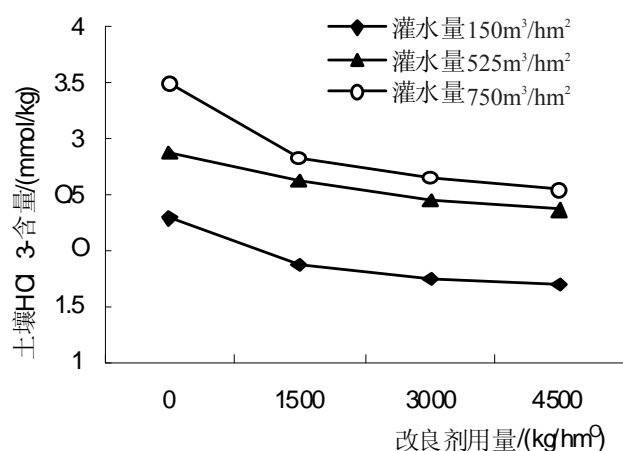


图2 改良剂与灌水对土壤碱化度影响

具有改良土壤碱性的作用。

### 2.4 施用改良剂与灌水对土壤Cl<sup>-</sup>的影响

从图4可以看出,灌水量对土壤Cl<sup>-</sup>离子影响更明显。灌水量150 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>处理土壤Cl<sup>-</sup>离子含量明显高于灌水量525 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>和750 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>的土壤Cl<sup>-</sup>离子含量。试验结果表明:灌水量越大土壤Cl<sup>-</sup>离子减少的越多。在同一灌水量条件下,土壤Cl<sup>-</sup>离子含量随改良剂施用量的增加而减少。从土壤Cl<sup>-</sup>离子含量占阴离子总量的变化分析,当灌水量150 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,改良剂施用量1500 kg/hm<sup>2</sup>、3000 kg/hm<sup>2</sup>、4500 kg/hm<sup>2</sup>,土壤Cl<sup>-</sup>离子占阴离子比例为76.40%、75.27%、72.54%;灌水量525 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>时,土壤Cl<sup>-</sup>离子占阴离子比例为30.14%、25.31%、23.36%;灌水量为750 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,土壤Cl<sup>-</sup>离子占阴离子比例为17.21%、15.40%、13.13%。结果综合分析:灌水量大对土壤中Cl<sup>-</sup>离子淋洗效果好,但灌水量525 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>比750 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>可以节水近一半,并达到了淋洗效果,同时土壤中HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>离子含量比灌水量750 m<sup>3</sup>/

图3 改良剂和灌水量对土壤HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>影响

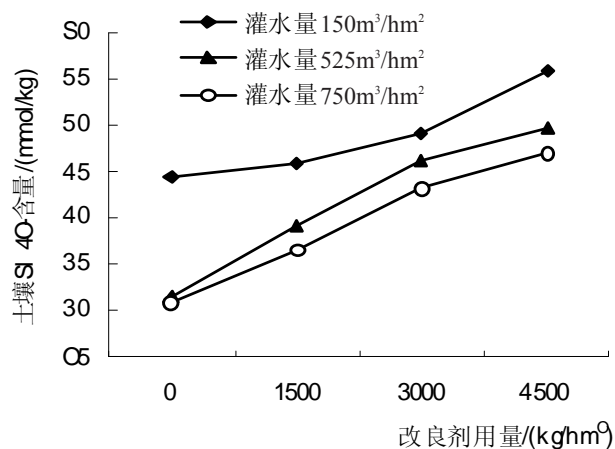
hm<sup>2</sup>处理也少。因此,选择适宜的灌水量、适量施用改良剂对土壤降盐防碱起着重要的作用<sup>[1]</sup>。

### 2.5 施用改良剂与灌水量对土壤SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的影响

试验用改良剂是以脱硫石膏为主要材料。从图5可以看出,土壤中SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>离子的变化随灌水量增加而降低,随改良剂施用量增加而增加。3个灌水量的土壤中SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>离子含量与改良剂施用量均呈明显的正相关关系,相关系数分别为 $R^2=0.9125$ 、 $R^2=0.9736$ 、 $R^2=0.9887$ 后两项达到了显著和极显著水平。改良剂中脱硫石膏为土壤提供了充足的SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>随着改良剂的加入,土壤中SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>含量增加,HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>含量随着改良剂的添加而减少,说明随着改良剂的加入土壤中中性可溶盐在逐渐增多,因此改良剂施用后促进了土壤碱化度的降低<sup>[6,12]</sup>。

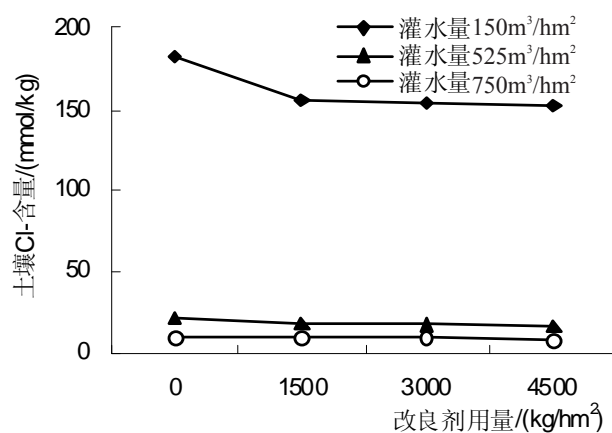
### 2.6 施用改良剂与灌水量对土壤Ca<sup>2+</sup>的影响

从图6可以看出,灌水量与改良剂施用量对土壤Ca<sup>2+</sup>离子影响的变化与土壤中SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>离子的变化趋势基

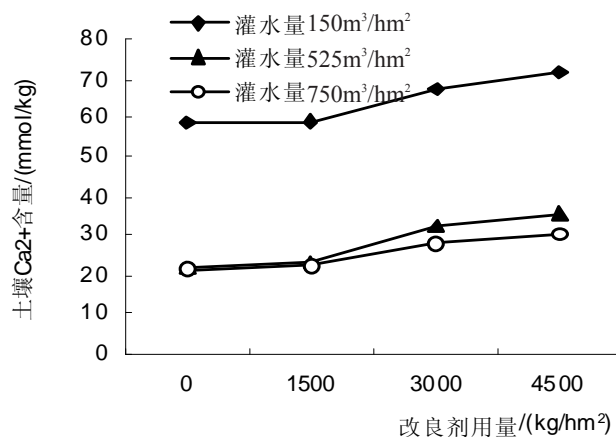
图5 改良剂与灌水量对土壤SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的影响

### 2.7 施用改良剂与灌水量对土壤K<sup>+</sup>+Na<sup>+</sup>的影响

图7显示了施用改良剂和灌水量对土壤K<sup>+</sup>+Na<sup>+</sup>含量影响较大。图形走势与土壤Cl<sup>-</sup>离子变化非常相近,随

图4 改良剂和灌水量对土壤Cl<sup>-</sup>的影响

本相同。在同一灌水量中,改良剂不同施用量处理间土壤Ca<sup>2+</sup>离子的变化,不施改良剂处理土壤中Ca<sup>2+</sup>离子含量最低,随改良剂施用量增加土壤中Ca<sup>2+</sup>离子随之增加。从土壤中Ca<sup>2+</sup>离子含量占土壤阳离子比例分析,灌水量150 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,随改良剂施用量增加,土壤中Ca<sup>2+</sup>离子含量占土壤阳离子比例为25.72%~34.3%;灌水量525 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,随改良剂施用量增加,土壤中Ca<sup>2+</sup>离子含量占土壤阳离子比例为39.99%~52.43%;灌水量750 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,随改良剂施用量增加,土壤中Ca<sup>2+</sup>离子含量占土壤阳离子比例为50.06%~54.03%。由于改良剂中脱硫石膏为土壤提供了充足的Ca<sup>2+</sup>,土壤中Ca<sup>2+</sup>离子占土壤阳离子比例增加了,有利于Ca<sup>2+</sup>离子将土壤胶体复合体中的Na<sup>+</sup>离子代换出来,因此有利于土粒由互相排斥到互相粘结及团粒的形成,改善土壤结构。Na<sup>+</sup>被代换下来后形成的Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>可随水移动排出土壤,使土壤碱性和盐分降低<sup>[6]</sup>。

图6 改良剂与灌水量对土壤Ca<sup>2+</sup>的影响

着灌水量的增加土壤K<sup>+</sup>+Na<sup>+</sup>含量下降。高灌水量处理的K<sup>+</sup>+Na<sup>+</sup>含量远远低于150 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>处理的土壤K<sup>+</sup>+Na<sup>+</sup>含量。同时看到在同一灌水量处理中,随着改良剂

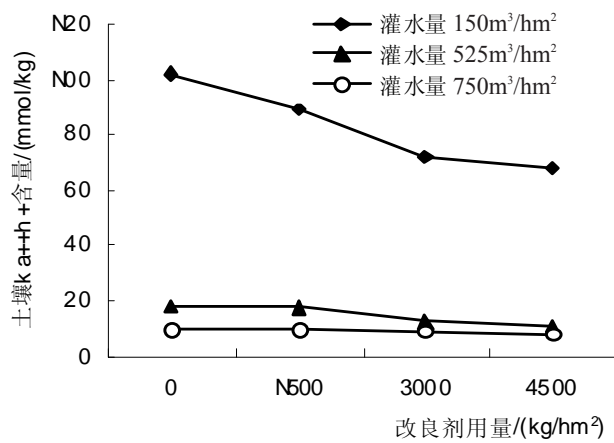


图7 改良剂与灌水对土壤Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>的影响

施用量的增加,土壤K<sup>+</sup>+Na<sup>+</sup>含量减少。在没有充足灌水条件下效果尤为明显。如灌水150 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>时,土壤改良剂的3个施用量处理与不是改良剂处理相比,土壤K<sup>+</sup>+Na<sup>+</sup>含量分别减少了11.8%、29.1%和33.2%。

### 3 结论

(1)利用碱性淡水对重盐渍化土壤进行洗盐,随着灌水量的增加土壤全盐量减少,能够使土壤迅速脱盐,并且效果明显。为了高效合理利用水资源,灌水量525 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>已经能够将土壤中大部盐分淋洗掉,比灌水量750 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>可节水42.9%。

(2)利用碱性淡水灌溉,土壤碱化度随灌水量增加均有不同程度的增加,因水中碱性钠盐被直接带入土壤,使土壤中碳酸钠积累。但施用土壤改良剂,可以使土壤中分盐离子组成比例发生变化。HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、K<sup>+</sup>+Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含量、土壤碱化度(ESP)随着改良剂施用量增加而减少。同时,改良剂为土壤提供了充足的Ca<sup>2+</sup>和SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>,二者与改良剂施用量呈正相关。

(3)改良剂施用量与土壤全盐量呈正相关关系,因此,并不是越多越好。为了避免土壤全盐量的过多积

累,改良剂施用量以3000 kg/hm<sup>2</sup>为宜。

(4)通过淋洗和施用富钙硫有机活性土壤改良剂,使作物不能生长的盐土土壤,油菜能够正常生长。综合考虑其适宜的淋洗灌水量和改良剂施用量组合应选择525 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>和3000 kg/hm<sup>2</sup>。

### 参考文献

- [1] 张凌云,赵庚星.盐碱土壤修复材料对滨海盐渍土理化性质的影响研究[J].水土保持研究,2006,13(1):32-34.
- [2] Christensen B T. Carbon in primary and secondary organ mineral complexes [A]//Carter M R. Structure and organic matter storage in agricultural soils[M]. Boca, Roton: C R C press, 1998:97-165.
- [3] 王亮,刘应宗.天津市烟气脱硫石膏综合利用的管理研究[J].内蒙古农业大学学报,2006,27(2):147-149.
- [4] 张方,马彦涛,胡将军.国内外火电厂烟气脱硫石膏的特点利用及处置[J].粉煤灰综合利用,2003,(4):50-51.
- [5] 邵玉翠,张余良,李悦,等.浅层咸水农田灌溉模拟试验研究[J].水土保持学报,2005,19(1):120-123.
- [6] 高玉山,朱知运,毕业莉.石膏改良苏打盐碱土田间定位试验研究[J].吉林农业科学,2003,28(6):26-31.
- [7] 王金满,杨培岭,张建国,等.脱硫石膏改良剂碱化土壤过程中的向日葵苗期盐响应研究[J].中国工程学报,2005,21(9):33-37.
- [8] 陈欢,王淑娟,陈昌和.烟气脱硫废弃物在碱化土壤改良中的应用及效果[J].干旱地区农业研究,2005,23(4):38-42.
- [9] 毛建华,陆文龙,潘洁,等.天津滨海盐土的脱盐碱化及其防治[J].华北农学报,1996,11(1):87-92
- [10] 谢乘陶.盐渍土改良原理与作物抗性[M].北京:中国农业科技出版社,1993:104-113.
- [11] 邵玉翠,张余良,李悦,等.天然矿物改良剂在微咸水灌溉土壤中应用效果的研究[J].水土保持学报,2005,19(4):100-103.
- [12] Yuji Sakai, Satoshi Matsumoto, Masayoshi Sadakata. Alkali soil reclamation with flue gas desulfurization gypsum in China and assessment of metal content in corn grains[J]. Soil and Sediment Contamination, 2004, 13(1):65-80.