

草木樨与脱硫石膏对内蒙古盐渍化土壤的改良培肥作用与效果

温国昌, 徐彦虎, 林启美, 李贵桐, 赵小蓉

(中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘要: 在内蒙古河套地区硫酸钠盐渍化土壤布置田间试验, 研究种植草木樨和施用脱硫石膏 ($30 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) 对盐渍化土壤的改良作用与效果。结果表明: 春季灌溉洗盐大幅度降低土体土壤 pH 值、盐渍化程度, 尤其是表层土壤, pH 值和 EC 值分别降低 $1.54 \sim 2.07$ 和 $7\% \sim 69\%$, 主要盐离子 Na^+ 和 SO_4^{2-} 分别降低了 80% 和 39% 。施用脱硫石膏对灌溉洗盐没有显著的影响, 但显著降低土壤有机质、有效磷、有效钾含量, 分别降低了 20% 、 15% 和 50% ; 施用脱硫石膏提高草木樨生物量 34% , 但植株磷含量降低了 42% 。种植草木樨大幅度降低土壤 EC 值和盐离子含量, 表层土壤主要盐离子 Na^+ 和 SO_4^{2-} 含量分别从 $670 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $2500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 降低至 $3.38 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $140.80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 降低了 200 倍和 16 倍; 土壤有机质和碱解氮含量分别提高了 6% 和 40% , 而有效磷、有效钾却降低了 49% 和 26% , 同时施用脱硫石膏, 尽管对土壤 pH 值、EC 值和盐离子浓度没有太大的影响, 但显著提高了土壤有机质和碱解氮含量, 有效磷和有效钾含量也相对有所增加。说明草木樨具有很好改良培肥盐渍化土壤作用, 与脱硫石膏也有一定的交互作用, 可加快盐渍化土壤改良培肥, 但需要增加磷钾肥的施用。

关键词: 草木樨; 脱硫石膏; 硫酸盐盐渍化土壤; 内蒙古河套地区

中图分类号: S156.4 **文献标志码:** A

Improvement of Na_2SO_4 saline soil by *Melilotus Mill* and desulfurization gypsum in Hetao Inner Mongolia

WEN Guo-chang, XU Yan-hu, LIN Qi-mei, LI Gui-tong, ZHAO Xiao-rong

(College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: To investigate the improvement results from both *Melilotus Mill* and desulfurization gypsum ($30 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) on salt contents and properties, a field experiment was set up in the Na_2SO_4 saline soil at Hetao Inner Mongolia. The results showed that the irrigation in spring largely reduced the pH and salinization level. In particular, the values of pH and EC in surface soil were reduced by $1.54 \sim 2.07$ and $7\% \sim 69\%$ respectively. The concentrations of main salt ions Na^+ and SO_4^{2-} became decreased by 80% and 39% , respectively. Addition of desulfurization gypsum had no significant effect on salt washing, but reduced soil organic matter, available P and K by 20% , 15% and 50% , respectively, implying that addition of desulfurization gypsum enhanced nutrient leaching during irrigation washing. The amendment of desulfurization gypsum resulted in 34% increase of *Melilotus Mill* biomass. However, the P content in plant tissue was significantly reduced by 42% . *Melilotus Mill* largely reduced soil EC and ion contents. The concentrations of main ions of Na^+ and SO_4^{2-} in the surface soil were decreased from $670 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ to $3.38 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, and from $2500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ to $140.80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively, which was about 200 times and 16 times lower than those in the soil before cultivation. The contents of both soil organic matter and alkaline-released N were elevated by 6% and 40% respectively. In contrary, available P and K went decreased by 49% and 26% , respectively. Though addition of *Melilotus Mill* had not significant impacts on soil pH, EC and salt ion concentration, it significantly lifted soil organic matter, alkaline-released N, available P and K. It was thus concluded that *Melilotus Mill* had a marked function in improving saline soil. There was also synergistic effect between *Melilotus Mill* and desulfurization gypsum. To maintain available P and K nutrients levels

收稿日期: 2014-11-17

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目 (2013BAC02B06)

作者简介: 温国昌 (1989—), 男, 河北武安人, 硕士研究生, 研究方向为内蒙古盐渍化土壤改良。E-mail: guochangwen113031@126.com。

通信作者: 林启美 (1961—), 男, 湖北武穴人, 教授, 主要研究方向为土壤生物与生物过程。E-mail: linqm@cau.edu.cn。

in soil, additional PK fertilizers might be needed.

Keywords: *Melilotus Mill*; desulfurization gypsum; Na₂SO₄ saline soil; Hetao Inner Mongolia

盐渍化土壤是非常重要的土壤类型,我国盐渍化土壤面积大,分布广泛,类型多样。据最新研究,我国现代盐渍化土壤面积约 3 693.3 万 hm²,残余盐渍化土壤约 4 486.7 万 hm²,潜在盐渍化土壤为 1 733.3 万 hm²,总计 9 913.3 万 hm²,其中盐渍化耕地面积近 670 万 hm²,约占全国总耕地面积的 5%,主要分布在东北、华北、西北内陆地区及长江以北沿海地带^[1]。显然,改良利用盐渍化土壤资源,不仅可缓解人口与土地之间的矛盾,而且对于生态环境建设,推动区域经济与社会可持续发展也具有重要的意义。

盐渍化土壤改良有多种技术措施,如客土、施用石膏、灌排沟渠、精耕细作、种植耐盐植物等^[2],其中种植耐盐植物等生物技术措施近年来备受关注。耐盐植物种类很多,包括真盐生植物、泌盐盐生植物和假盐生植物,据报道,猪毛菜、四翅滨藜等盐生植物,不仅能够吸收携带走大量盐分,而且提高土壤有机质含量,改善土壤物理结构^[3]。草木樨(*Melilotus Mill*)为豆科植物^[4],耐寒、耐旱、耐盐碱,具有较强的生物固氮能力,一般用作盐渍化土壤改良的先锋植物,也可用作绿肥,提高土壤氮素含量,改善土壤结构,提高土壤肥力;草木樨可直接用作饲料,也可干燥后加工成草粉,用作精饲料;草木樨还是蜜源植物,促进养蜂业发展^[5]。

最新的研究结果表明,生物措施与水利工程、农学、化学技术有机结合,如灌排工程与种植先锋耐盐植物结合^[6],施用化学改良剂与精耕细作结合等,不仅可加快土壤脱盐进程,而且加快土壤熟化,培肥土壤,效益也显著提高。脱硫石膏是燃煤发电厂脱除

SO₂ 的产物,全世界年产约 1.5 亿 t,我国年产生量也超过 100 万 t,并有逐年增长的势头^[7-8],亟待安全处置与资源化利用。脱硫石膏的主要成分和性质与天然石膏几乎相同^[9],已有的研究显示,脱硫石膏可用作土壤调理剂,具有明显的改良盐渍化土壤的作用,如降低土壤钠饱和度(ESP)^[10-11],显著降低土壤 pH 值和 EC 值^[12],提高 Ca²⁺、Mg²⁺ 含量^[13],提高土壤饱和导水率和渗透速率^[14-15]。关于脱硫石膏与耐盐植物的相互作用,及其对盐渍化土壤的改良作用与效果,目前还缺乏研究和了解,制约脱硫石膏广泛应用。

鉴于此,本研究在内蒙古鄂尔多斯市十二连城乡东不拉村黄河滩盐渍化土壤上设置田间试验,比较施用脱硫石膏并种植草木樨后,土壤盐分及理化性质的变化,以期了解:(1) 脱硫石膏对灌溉洗盐的影响;(2) 草木樨对盐渍化土壤的改良培肥作用与效果;(3) 脱硫石膏与草木樨相互作用及其对盐渍化土壤的改良培肥作用。

1 材料与方法

1.1 土壤

2012 年 5 月初,土壤解冻灌溉洗盐之前,采集剖面样品,测定土壤 pH 值、EC 值及盐分离子组成及含量(表 1)。供试土壤为碱化度比较高的硫酸钠盐渍化土壤,表层土壤黏粒(< 0.002 mm)、粉粒(0.002~0.05 mm)及砂粒(0.05~2 mm)的含量分别为 23%、22%、55%,属于粉砂质粘壤土,次表层和底层土壤质地相似^[16]。地下水位 0.8~2.0 m,排水设施比较完善。

表 1 供试土壤剖面 pH 值、EC 值及盐分离子组成及含量

Table 1 Values of pH, EC and salt ions in the soil profile

土层/cm Soil layer	pH	EC /(mS·cm ⁻¹)	K ⁺ /(mg·kg ⁻¹)	Na ⁺ /(mg·kg ⁻¹)	Ca ²⁺ /(mg·kg ⁻¹)	Mg ²⁺ /(mg·kg ⁻¹)	Cl ⁻ /(mg·kg ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ /(mg·kg ⁻¹)	CO ₃ ²⁻ /(mg·kg ⁻¹)	HCO ₃ ⁻ /(mg·kg ⁻¹)
0~20	9.67	1.60	105.17	3327.04	291.79	208.16	584.40	3769.73	0.00	894.99
20~35	9.74	0.70	153.80	1891.91	603.36	60.34	204.54	1981.40	34.62	917.11
35~70	9.45	0.31	202.42	745.67	400.59	220.83	102.27	1403.76	0.00	789.40

1.2 脱硫石膏

脱硫石膏来自内蒙古托克托县大唐发电厂,粒径<0.080 mm,石膏(CaSO₄·2H₂O)含量 89.8%。

1.3 田间试验

试验地点在内蒙古鄂尔多斯市十二连城乡东不拉村黄河滩,该地区属典型的半干旱大陆性气候,年

平均温度约为 6℃~10℃,年平均降雨量约为 140~330 mm,在时间分配上雨热同季,集中在 7、8 月份,冬春雨雪少;年平均水面蒸发量约为 1 800~2 000 mm,蒸发量远远超过降雨量。

试验设计施用和不施用脱硫石膏两个处理,每个小区面积约 120 m²,每个处理设 3 个重复,分别种

植草木樨 (*Melilotus Mill*)。脱硫石膏用量 $30\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,用机械均匀撒施于地表,犁翻后再旋耕,4月初大水漫灌洗盐,灌溉量约为 $2\,000\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,不施用脱硫石膏小区进行同样操作。

土壤落干后再次采取剖面土壤样品,测定 pH 值、EC 值和盐分离子,以了解灌溉洗盐效果。表施氮磷复合肥(折合 $\text{N}\ 150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, $\text{P}_2\text{O}_5\ 75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$),按照常规方法种植草木樨,播种量为 $1.5\sim 2\text{ kg}\cdot 667\text{m}^{-2}$,试验期间不再灌溉,10月初采集表层和剖面土壤样品,表层土壤测定有机质和有效 N、P、K,剖面样品测定 pH 值、EC 值、8 大盐分离子;同时,测定 3 个 $1\text{ m}^2(1\text{ m}\times 1\text{ m})$ 面积的草木樨地上部生物量,植物样品杀青烘干粉碎后测定 N、P、K 含量。

1.4 测定项目与方法

土壤机械组成用吸管法,土壤用 AgNO_3 去 Cl^- 后,有机质含量用重铬酸钾外加热容量法、碱解氮含量用碱解扩散法、有效磷含量用 Olsen 法、有效钾含量用 $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 NH_4OAc 浸提火焰光度计法测定, pH 值和 EC 值用 5:1 水土比浸提,分别用 UB-7 精密 pH 计和雷磁 DDS-307A 电导仪测定^[16]。

土壤 8 大盐分离子:称取 $< 2\text{ mm}$ 风干土样

100.00 g 于 $1\,000\text{ mL}$ 三角瓶中,加入 500 mL 无 CO_2 蒸馏水(水土比 5:1),充分振荡 5 min ,滤液中的 K^+ 、 Na^+ 用火焰光度法测定, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 用 EDTA 滴定法测定, SO_4^{2-} 用 EDTA 间接络合滴定法测定, Cl^- 用硝酸银滴定法测定, HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 用双指示剂-中和滴定法测定。植物样品用 $\text{H}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}_2$ 消煮,消煮液氮浓度用凯氏定氮法测定,磷用钒钼黄比色法测定,钾用火焰光度计法测定,计算植物体 N、P、K 含量^[16]。

1.5 数据处理及统计分析

所有测量均用烘干质量表示,除非特别说明,均为 2 次测定平行的平均值。用 SPSS20.0 进行单因素方差分析,用 $LSD_{0.05}$ 表示置信度达到 95% 的显著性差异。

2 结果与分析

2.1 土壤养分

施用脱硫石膏土壤有机质、有效磷、有效钾含量显著下降(表 2),比不施脱硫石膏分别下降 20%、15% 和 50%,但土壤碱解氮却提高了 60%。显然,施用脱硫石膏加剧了灌溉洗盐过程中土壤养分的淋洗,而碱解氮提高可能与土壤有机氮转化有关。

表 2 施用脱硫石膏和种植草木樨前后 0~20 cm 表层土壤养分含量

Table 2 Nutrient contents in the surface soils(0~20 cm) before and after additions of desulfurization gypsum and planting <i>Melilotus Mill</i>					
脱硫石膏/($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$) Desulfurization gypsum	采样时期 Time	有机质 Organic matter /($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	碱解氮 Available - N /($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效磷 Olsen - P /($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效钾 Olsen - K /($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
0	洗盐后播种前 After salt washing and before sowing	1.39	21.00	13.72	140.02
	收获期 Harvest	1.47	29.40	6.98	103.13
30	洗盐后播种前 After salt washing and before sowing	1.11	33.60	11.68	69.59
	收获期 Harvest	1.92	39.90	9.03	93.07
$LSD_{0.05}$		0.06	1.95	0.58	5.68

种植草木樨后,土壤有机质和碱解氮比播种前分别提高了 6% 和 40%,而有效磷、有效钾却降低了 49% 和 26%;同时施用脱硫石膏,进一步提高土壤有机质和碱解氮含量,有效磷有效钾含量降低的幅度也减小。这说明草木樨具有一定的改良培肥土壤作用,但也需要补充施用 P、K 肥料。

2.2 土壤 pH 值和 EC 值

供试土壤 pH 值和 EC 值分别为 9.67、 $1.60\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$,全盐含量约为 $1.0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($1\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 相当于全盐量 $0.70\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$),碱化硫酸盐土壤(表 1)。表 3 的结果显示,灌溉洗盐后,土壤 pH 值和 EC 值均大幅度下降,表层土壤更为明显, pH 值和 EC 值分别

降低了 2.07 个单位和 220%。施用脱硫石膏促进了表层土壤 pH 值下降,但 EC 值却提高了 66%,对亚表层与底层土壤 pH 值、EC 值影响比较小。这说明灌溉可有效降低表层土壤盐分和碱度,施用脱硫石膏可加剧碱度降低,但盐分含量则有所提高。

种植草木樨后各层土壤的 pH 值增加了 0.4~0.5 个单位,EC 值则进一步大幅度降低,比播种前降低了 58%~74%;同时施用脱硫石膏后,总体来看,土壤 pH 值变化比较小,而 EC 值有所提高,比不施用脱硫石膏提高 11%~88%。十分明显,种植草木樨加速土壤脱盐,但碱度有所提高,同时施用脱硫石膏,在一定程度上有利于盐分累积。

表 3 施用脱硫石膏和种植草木樨前后各土层土壤 pH 值和 EC 值

脱硫石膏/(t·hm ⁻²) Desulfurization gypsum	土层/cm Soil layer	采样时期 Time	pH	EC (mS·cm ⁻¹)
0	0~25	洗盐后播种前 After salt washing and before sowing	8.13	0.50
	25~45		8.05	0.65
	45~70		8.10	0.43
	0~25	收获期 Harvest	8.49	0.13
	25~45		8.53	0.17
	45~70		8.46	0.18
30	0~25	洗盐后播种前 After salt washing and before sowing	7.60	0.83
	25~45		8.17	0.55
	45~70		7.96	0.48
	0~25	收获期 Harvest	8.46	0.20
	25~45		7.94	0.32
	45~70		8.48	0.20
LSD _{0.05}	0~25		0.62	0.04
	25~45		0.57	0.06
	45~70		0.58	0.05

2.3 土壤盐分离子浓度

供试土壤主要含有 SO₄²⁻ 和 Na⁺, 也有一定的 HCO₃⁻ 和 Cl⁻ (表 1)。由表 4 可以看出, 灌溉洗盐大幅度降低了 0~70 cm 土层土壤几乎所有的盐分离子浓度, 其中 K⁺, Cl⁻, HCO₃⁻ 浓度降低了 95% 以上, Na⁺ 和 SO₄²⁻ 也大幅度降低, 尤其表层土壤分别降低了 80% 和 39%, 但底层土壤出现 SO₄²⁻ 聚集。施用脱硫石膏, 对大部分盐分离子淋洗并没有产生显著的影响, 盐分洗脱主要是水分的淋溶作用。

在未施脱硫石膏区种植草木樨后, 各层土壤 Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 和 SO₄²⁻ 含量大幅度降低, 尤其是表层 Na⁺ 和 SO₄²⁻ 的含量, 分别从 670 mg·kg⁻¹ 和 2 500 mg·kg⁻¹ 降低至 3.38 mg·kg⁻¹ 和 140.80 mg·kg⁻¹, 降低了 200 倍和 16 倍; K⁺、Cl⁻ 和 HCO₃⁻ 含量则有所增加, 表层土壤的 HCO₃⁻ 从 32.79 mg·kg⁻¹ 提高到 72.86 mg·kg⁻¹。种植草木樨同时施用脱硫石膏, 表层土壤 HCO₃⁻ 和 Na⁺ 分别提高了 28.81 mg·kg⁻¹ 和 21.09 mg·kg⁻¹, 但远未达到危害作物生长的浓度水平 (盐分 > 0.1%)^[18-19], 其余离子浓度没有受到显著的影响。这充分说明种植草木樨促进了土壤脱盐, 尤其是 Na⁺ 大幅度地降低至安全水平, 但没有发现草木樨与脱硫石膏之间显著的相互作用。

2.4 作物生物量及 NPK 含量

施用脱硫石膏显著地提高了草木樨地上部分干生物量, 提高幅度达 34%, 植物体内全磷含量降低

了 42%, 全氮和全钾含量没有显著的差异 (表 5)。

3 讨论与结论

3.1 脱硫石膏对盐渍化土壤肥力及草木樨生长的影响

内蒙古河套地区土壤春季返盐十分严重, 在播种前必须进行灌溉洗盐, 使表层土壤盐分含量降低至作物耐受范围^[20]。本研究结果显示, 灌溉洗盐确实大幅度降低了土壤盐分含量, 尤其是表层土壤钠盐含量降了 80%。但与此同时, 土壤有机质、有效 K 发生淋失, 最多损失了 79%。因此, 在生产实践中, 需要增强施肥, 尤其是施用有机肥料, 以补充淋失的养分。

脱硫石膏是燃煤电厂的废弃物, 我国年产超过 100 万 t, 用作盐渍化土壤改良剂, 是安全处置与资源化利用脱硫石膏的一个“多赢”的举措。大量研究结果显示, 脱硫石膏具有明显的改良盐渍化土壤的作用, 如降低土壤钠饱和度 (ESP)^[10-11], 降低土壤 pH 值和 EC 值^[12,21], 提高土壤饱和导水率和渗透速率^[13-14], 据 Rahmat 等报道施用 1 t·hm⁻² 和 2 t·hm⁻² 脱硫废弃物, 小麦产量分别提高 25.25% 和 65.66%^[22]。本研究结果显示, 施用脱硫石膏对土壤主要盐分离子含量没有显著的影响, 但显著降低了表层土壤 pH 值 (表 3), 这可能是脱硫石膏对土壤盐分离子影响的一种综合效应。施用脱硫石膏的处理, 草木樨生物量提高了 34%, 但植株 P 含量降低

了。说明脱硫石膏可能通过其他途径,如改善土壤物理结构,增强植物钙镁等营养,从而促进植物生长^[7-8,23];同时,由于钙增加,可能增强土壤固定磷能力,土壤有效磷含量降低,植物磷素营养受到影响,具体原因还有待深入研究。

表 4 施用脱硫石膏和种植草木樨对土壤盐分离子含量的影响/(mg·kg⁻¹)

Table 4 Concentrations of salt ions in different soil layers before and after additions of desulfurization gypsum and planting <i>Melilotus Mill</i>										
脱硫石膏 /(t·hm ⁻²) Desulfurization gypsum	土层/cm Soil layer	采样时期 Time	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
0	0~25	洗盐后播种前 After salt washing and before sowing	670.00	0.00	200.00	73.20	6.75	32.79	2500.00	2.99
	25~45		950.00	0.00	150.00	67.10	4.50	9.15	3250.00	4.43
	45~70		610.00	0.00	110.00	79.30	3.75	26.69	2200.00	2.55
	0~25	收获期 Harvest	3.38	4.30	115.56	47.44	0.00	72.86	140.80	14.28
	25~45		11.81	7.50	182.22	16.27	0.00	93.19	157.87	9.85
	45~70		16.03	2.65	111.11	37.96	0.00	62.69	140.80	10.83
30	0~25	洗盐后播种前 After salt washing and before sowing	750.00	0.00	180.00	100.00	0.00	5.08	5800.00	2.99
	25~45		810.00	0.00	150.00	91.50	2.50	41.18	2600.00	4.65
	45~70		690.00	0.00	120.00	97.60	0.00	26.43	2700.00	4.65
	0~25	收获期 Harvest	24.47	6.62	158.89	53.54	0.00	101.67	138.67	13.79
	25~45		3.38	1.77	127.78	0.68	0.00	57.95	60.80	7.39
	45~70		24.47	3.64	122.22	12.20	0.00	80.99	94.93	10.83
LSD _{0.05}	0~25		10.56	0.25	20.13	12.32	0.42	6.98	36.56	0.32
	25~45		6.32	0.11	12.34	9.55	0.36	8.96	45.31	1.12
	45~70		8.67	0.35	12.25	11.33	0.65	10.21	21.36	3.25

表 5 施用脱硫石膏对草木樨地上部分干生物量及全氮磷钾含量的影响

Table 5 Dry matter and NPK contents in the aboveground tissues of *Melilotus Mill* with addition of desulfurization gypsum

脱硫石膏/(t·hm ⁻²) Desulfurization gypsum	生物量 Biomass /(kg·hm ⁻²)	N /(g·kg ⁻¹)	P /(g·kg ⁻¹)	K /(g·kg ⁻¹)
0	770.65a	30.80a	2.08a	10.57a
30	1033.77b	29.96a	1.21b	9.08a

注:同一列不同字母表示施用与不施用脱硫石膏之间差异显著(P<0.05)。

Note: The different letters in the same column indicate the significant difference between two treatments with or without desulfurization gypsum(P<0.05).

3.2 种植草木樨对盐渍化土壤的改良培肥作用

草木樨一直被视为盐渍化土壤改良的先锋植物,也是瘠薄土壤培肥的重要植物,其庞大的生物量,尤其是地下生物量,以及强大的生物固氮功能,可快速提高土壤有机质,改善土壤结构,活化土壤养分,提高氮磷钾等养分的有效性^[5]。汤洁等报道在松嫩平原种植草木樨后,能显著降低土壤的盐分含量,并且能改善土壤结构,提高土壤含水量,显著提

高土壤有机质、全氮和全钾的含量。本研究结果表明,种植草木樨后,土壤有机质、NP 含量显著提高,电导率降低,Na⁺ 含量大幅度降低,K⁺ 含量显著提高,显然,种植草木樨可改良培肥盐渍化土壤;同时施用脱硫石膏,尽管对土壤盐分离子浓度没有太大的影响,但显著提高了土壤有机质和碱解氮含量,有效磷和有效钾含量也相对有所增加,说明草木樨具有很好改良培肥盐渍化土壤的作用,与脱硫石膏也有一定的交换作用,可加快盐渍化土壤改良培肥。

3.3 结 论

灌溉是有效降低盐渍化土壤盐分含量和 pH 值的重要技术措施,但同时也导致养分淋失。施用脱硫石膏尽管对主要盐分离子淋洗没有显著的影响,但显著降低土壤 pH 值,反应出脱硫石膏影响土壤盐分离子平衡的综合效应。种植草木樨配施脱硫石膏大幅度降低主要盐分离子 Na⁺ 和 SO₄²⁻, 提高土壤有机质和碱解氮含量。

参 考 文 献:

[1] 杨小康,王 雪.盐碱地改良技术研究综述[J].江西农业学报 2012,24(3):114-116.

[2] 王丽贤,张小云,吴 森.盐碱地改良措施[J].安徽农学通报, 2012,18(17):99-102.

[3] Ravindran K C, Venkatesan K, Balakrishnan V, et al. Restoration of saline land by halophytes for Indian soils[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007,39(10):2661-2664.

[4] 丛建民,陈凤清,孙春玲.草木樨综合开发研究[J].安徽农业科学,2012,40(5):2962-2963,2996.

[5] 汤 洁,梁 爽,林年丰,等.黄花草木樨改良盐碱土及修复生态环境研究[C]//环境污染与大众健康会议.武汉:美国科研出版社,2012:738-742.

[6] 蒋鹏文,周宏飞,邵春琴,等.生物排盐改良利用盐渍土的研究展望[J].人民黄河.2013,35(3):71-75.

[7] 陈 欢,王淑娟,陈昌和,等.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.

[8] 李凤霞,杨 涓,许兴,等.烟气脱硫废弃物在盐碱地土壤改良中的应用研究进展[J].土壤,2010,42(3):352-357.

[9] 蓝佩玲,廖新荣,李淑仪,等.燃煤烟气脱硫副产物在酸性土上的农用价值和利用原理[J].生态环境,2007,16(4):1135-1138.

[10] Crews J T, Dick W A. Liming acid forest soils with flue gas desulfurization by product: Growth of northern red oak and loblolly pine at water quality[J]. Environmental Pollution, 1998,103(1):55-61.

[11] Chun S, Nishiyama M, Matsumoto S. Sodic soils reclaimed with by-product from flue gas desulfurization: coproduction and soil quality[J]. Environmental Pollution, 2001,114:453-459.

[12] 任 坤,任树梅,杨培岭. CaSO₄ 在改良碱化土壤过程中对其理化性质的影响[J].灌溉排水学报,2006,25(4):77-80.

[13] 石 懿,杨培岭,张建国,等.利用 SAR 和 pH 分析脱硫石膏改良碱化土壤的机理[J].灌溉排水学报,2005,24(4):4-9.

[14] 张峰举,肖国举,罗成科,等.脱硫石膏对次生碱化盐土的改良效果[J].河南农业科学,2010,5(2):24-26.

[15] 王晓颖,赵秀芳,王振宇,等.室内淋洗条件下脱硫石膏对滨海吹填土理化性质的影响[J].水土保持学报,2012,26(1):109-112.

[16] 鲍士旦.土壤农化分析(第三版)[M].北京:中国农业出版社, 2000:194-199.

[20] 王葆芳,杨晓晖,江泽平.引黄灌区水资源利用与土壤盐渍化防治[J].干旱区研究,2004,21(2):139-143.

[21] 李 茜,孙兆军,秦 萍,等.燃煤烟气脱硫废弃物和糠醛渣对盐碱土的改良效应[J].干旱地区农业研究,2008,26(4):70-73.

[22] Liming C, Warren A, Dich S N. Flue gas desulfurization by-product liming and sulfur source for alfalfa and soybean[J]. Agron Journal, 2005,97:265-271.

[23] 李 彦,衣怀峰,赵 博,等.燃煤烟气脱硫石膏在新疆盐碱土壤改良中的应用研究[J].生态环境学报,2010,19(7):1682-1685.

(上接第 42 页)

参 考 文 献:

[1] 康绍忠,刘晓明,熊运章.土壤-植物-大气连续体水分传输理论及其应用[M].北京:水利水电出版社,1992:1-13.

[2] 孙庆宇,佟 玲,张宝忠,等.参考作物蒸发蒸腾量计算方法在海河流域的适用性[J].农业工程学报,2010,26(11):68-72.

[3] 刘晓英,林而达,刘培军. Priestley-Taylor 与 Penman 法计算参照作物腾发量的结果比较[J].农业工程学报,2003,19(1):32-36.

[4] 彭世彰,徐俊增.参考作物腾发量计算方法的应用比较[J].灌溉排水学报,2004,23(6):5-9.

[5] 苏春宏,陈亚新,徐 冰. ET₀ 计算公式的最新进展与普适性评估[J].水科学进展,2008,19(1):129-136.

[6] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirement; FAO irrigation and drain paper 56[M]. Rome, Italy: FAO, 1998:17-64.

[7] Martin S. The application of climatic data for planning and management of sustainable rain fed and irrigated crop production[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2000,103:99-108.

[8] Irmak S, Allen R G, Whitt E B. Daily grass and alfalfa – reference evapotranspiration estimates and alfalfa – grass evapotranspiration ratios in Florida[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 2003,129(5):360-370.

[9] 李玉霖,崔建垣,张铜会.参考作物蒸散量计算方法的比较研究[J].中国沙漠,2002,22(4):372-376.

[10] 谢 平,陈晓宏,刘丙军.湛江地区适宜参考作物蒸发蒸腾量计算模型分析[J].农业工程学报,2008,24(5):6-9.

[11] 闫浩芳,史海滨,薛 铸,等.内蒙古河套灌区 ET₀ 不同计算方法的对比研究[J].农业工程学报,2008,24(4):103-106.

[12] 霍再林,史海滨,陈亚新,等.内蒙古地区 ET₀ 时空变化与相关分析[J].农业工程学报,2004,20(6):60-63.

[13] Cai J B, Liu Y, Lei T W. Estimating reference evapotranspiration with the FAO Penman-Monteith equation using daily weather forecast messages[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2007,145(2):22-35.

[14] 樊 军,邵明安,王全九.黄土区参考作物蒸散量多种计算方法的比较研究[J].农业工程学报,2008,24(3):98-102.