

脱硫石膏施用下宁夏盐化碱土水盐运移特征

樊丽琴, 杨建国, 尚红莺, 张永宏

(宁夏农林科学院农业资源与环境研究所, 银川 750002)

摘要: 为定量描述脱硫石膏施用下盐化碱土土壤剖面盐分与淋洗水量的关系, 通过室内土柱淋洗试验开展了脱硫石膏施用下不同淋洗水量对宁夏盐化碱土水盐运移影响的研究。结果表明: 施用脱硫石膏对增加水分入渗和降低 0—20 cm 土层土壤 pH、盐分含量产生了积极影响, 土壤脱盐率 84.39%~95.41%, 但较大水量的淋洗有可能会加剧土壤碱化。连续淋洗条件下, 最大脱盐深度位于 60—80 cm 土层。脱硫石膏施用下, 0—20 cm 土层 Cl^- 、 Na^+ 溶脱率随淋洗水量的增加变化不大, 低淋洗水量下, SO_4^{2-} 溶脱率低于 Na^+ 和 Cl^- , 高淋洗水量下, 3 种离子溶脱率接近; 20—40 cm 土层主要盐离子溶脱率由大到小依次为 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ , 各离子脱盐率随淋洗水量的增加先增加较快后趋于平缓。当淋洗水量达到 60 cm 时, SO_4^{2-} 和 Na^+ 在 80—100 cm 土层累积, Cl^- 则运移至 100 cm 土层以下。

关键词: 土柱淋洗试验; 脱硫石膏; 淋洗水量; 盐化碱土; 水盐运移

中图分类号: S156.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2017)03-0193-04

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2017.03.033

Characteristics of Soil Water and Salt Movement in a Saline Alkali Soil Treated with Desulfurized Gypsum

FAN Liqin, YANG Jianguo, SHANG Hongying, ZHANG Yonghong

(Institute of Agricultural Resources and Environment, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750002)

Abstract: In order to describe the quantitative relationship between soil salinity in the profile of a saline alkali soil and leaching water volume, the effects of leaching water volume on soil water and salt movement in a typical saline alkali soil in Ningxia Province treated with desulfurized gypsum were studied by an indoor soil column leaching test. The results showed that applying desulfurized gypsum had a positive effect on increasing water infiltration, reducing soil pH and salinity of the 0—20 cm soil layer, and soil desalinization rate was between 84.39% and 95.41%, but large leaching water volume might aggravate soil alkalization. Under continuous leaching condition, the maximum desalting depth lied in the 60—80 cm soil layer. In the 0—20 cm soil layer, the desalting ratio of Cl^- and Na^+ had a small variation with the increasing amount of leaching water volume. Under small leaching water volume, the desalting ratio of SO_4^{2-} was lower than those of Cl^- and Na^+ . Under large leaching water volume, the desalting ratios of three ions were very close. In the 20—40 cm soil layer, the desalting ratio of major salt ion was in a descending order of $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Na}^+$, and they increased fast first and then became gentle with increasing leaching water volume, and under small leaching water volume, Cl^- , Na^+ , SO_4^{2-} accumulated in the 40—60 cm soil layer. Under large leaching water volume, they continued downward migration. When leaching water volume reached 60 cm, SO_4^{2-} and Na^+ accumulated in the 80—100 cm soil layer, while Cl^- migrated to >100 cm soil layer.

Keywords: soil column leaching test; desulfurized gypsum; leaching water volume; saline alkali soil; water and salt movement

盐碱土是盐土、碱土和各类盐化、碱化土的统称, 相对盐化土壤和盐土, 碱化土壤和碱土需加入含钙物质来置换土壤胶体表面吸附的钠或采用加酸或酸性

物质的方法改良, 其中石膏用于改良碱化土壤的方法被广泛认可。已有研究表明, 利用燃煤电厂副产物脱硫石膏富含 CaSO_4 的特点改良碱化土壤, 可有效降

收稿日期: 2016-11-07

资助项目: 宁夏农林科学院重点科技项目(NKYZ-16-0905); 宁夏农林科学院一二三产业融合发展科技创新示范项目(NKYZ-16-0908); 宁夏农林科学院科技创新先导资金项目(NKYJ-15-35); 国家科技支撑计划项目(2013BAC02B05); 宁夏自然科学基金项目(NZ13121)

第一作者: 樊丽琴(1979—), 女, 河南漯河人, 硕士, 副研究员, 主要从事土壤改良方面研究。E-mail: fanlqnx@126.com

低土壤 pH 和碱化度^[1-4],降低土壤容重,提高土壤入渗率,促进盐离子淋洗^[5],尤其是对重度碱化土壤和碱土改良效果更明显。王云贺等^[6]研究表明,对比脱硫石膏、农家肥和沙子 3 种改良物质,脱硫石膏对苏打碱土改良的贡献率最大,王静等^[1]研究表明,脱硫石膏改良龟裂碱土后土壤碱化度有很大下降,pH 也有所下降。宁夏引黄灌区北部是盐碱地发生的重灾区,分布有一定面积的盐化碱土,其土壤盐分、pH、碱化度都很高,质地黏重,多为重壤土或黏土,相对于其他类型的盐碱土,改良尤其困难。采用脱硫石膏改良碱土虽然可降低土壤碱性,但另一方面由于脱硫石膏也是一种盐分,也会带来增加土壤盐度的潜在风险。因此,对于盐碱并重的盐化碱土,施用脱硫石膏对土壤剖面水盐分布的影响是值得关注的问题。

由于盐碱土的危害常常是由于有害盐离子含量过多造成的,因此,在盐碱土改良中,研究盐碱土盐分离子的分异规律十分重要,一般认为,阳离子易于溶脱的顺序是 $Mg^{2+} > Na^+ > Ca^{2+} > K^+$,阴离子为 $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ ^[7-8],目前有关脱硫石膏施用下

宁夏盐化碱土土壤水盐运移特征的研究尚未见报道。为此,笔者通过室内土柱模拟试验,研究淡水不同淋洗水量对盐化碱土土壤剖面盐离子迁移及其分异规律的影响,探讨盐化碱土土壤剖面盐分与淋洗水量的定量化关系,以期对宁夏引黄灌区盐渍土的改良和控制提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 供试土样

供试土样取自石嘴山市平罗县西大滩盐碱荒地,采样时间为 2014 年 5 月 5 日,按 0—20,20—40,40—60,60—80,80—100 cm 土层挖剖面采集土样,然后将各层土壤分别经过自然风干和碾压去杂后过 2 mm 筛备用。由表 1 可知,0—60 cm 土层土壤容重高达 1.60 g/cm³ 以上,各土层 pH 值均大于 9,土壤全盐含量由上到下逐步降低,在 14.76~21.78 g/kg 之间,盐离子中 Na⁺ 含量最高,其次是 Cl⁻、SO₄²⁻。按照盐分组成划分盐碱土类型,试区土壤剖面 0—60 cm 土层属氯化物—硫酸盐类型;60—100 cm 土层属硫酸盐—氯化物类型。

表 1 供试土壤基本理化性质

土层 深度/cm	容重/ (g·cm ⁻³)	pH	全盐/ (g·kg ⁻¹)	分盐/(cmol·kg ⁻¹)								碱化度/ %
				CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	
0—20	1.62	9.01	21.78	0.00	2.69	14.17	18.03	1.50	2.50	1.54	34.78	36.58
20—40	1.74	9.12	18.98	1.33	1.31	10.83	18.03	0.50	1.67	1.54	26.09	44.66
40—60	1.66	9.33	15.92	1.33	1.31	8.33	16.34	0.50	0.83	1.03	17.39	43.59
60—80	1.54	9.34	16.04	1.33	1.31	5.21	11.83	0.50	0.83	0.51	8.70	46.98
80—100	1.56	9.28	14.76	1.33	1.31	5.63	12.96	0.50	0.83	0.51	8.70	50.88

1.2 研究方法

试验所用土柱、土样装填方法同文献^[9],供试土样 0—20,20—40,40—60,60—80,80—100 cm 各层土壤含水率分别为 1.73%,1.65%,1.87%,3.97%,5.45%。在装填 0—20 cm 土层时,将该层土壤与脱硫石膏充分混合后再填充,脱硫石膏施用量为 140 g (22.5 t/hm²)。按淋洗水量的不同设 4 个处理:24,36,48,60 cm(指相对于土壤高度的水量高度,分别用 T1、T2、T3、T4 表示),淋洗水量为 60 cm 的处理实际灌水量为 57 cm。每个处理重复 2 次。另设 0—20 cm 土层不施用脱硫石膏灌水量为 48 cm 的处理作为对照(CK)。试验所用淡水为黄河水,pH 为 8.29,矿化度为 0.76 g/L,含 HCO₃⁻ 6.23 mmol/L,SO₄²⁻ 2.21 mmol/L,Cl⁻ 2.69 mmol/L,Ca²⁺ 2.13 mmol/L,Mg²⁺ 2.37 mmol/L,K⁺ 0.08 mmol/L,Na⁺ 3.48 mmol/L,钠吸附比为 1.64。

在灌水之前,在土壤表层覆盖 2 层滤纸,方便观察土壤落干情况。灌水之后土柱上端开口处用保鲜膜覆盖,并在其上面插 4 个小孔。用量筒分次加入,首次加入量为 8 L(灌水量为 13 cm),在首次灌水入渗完毕 8

h 之后再行第 2 次灌水,T2、T3、T4 均用量筒加入 8 L(T1 加入 6.77 L 即可达到规定淋洗水量),之后每次在水层下降到 4 cm 时,加 2.5 L(灌水量为 4 cm,最后 1 次各处理灌水量不同),直至达到规定灌水量。试验期间水位保持在 4~8 cm。对照灌水方法同 T3。试验结束后测量各土柱剖面土壤含水率、pH、全盐、盐分组成,其中全盐(1:5 土水比)用雷磁 DDS-307A 型电导率仪测定,土壤 pH(1:2.5 土水比)用 pH 计测定,盐离子 Na⁺、Cl⁻、SO₄²⁻ 含量按照《土壤农化分析(第 3 版)》中的方法进行测定^[10]。

2 结果与分析

2.1 不同淋洗水量对土壤剖面全盐和 pH 的影响

由图 1 和表 1 可知,各土层土壤剖面全盐含量随着淋洗水量的增加而降低,与初始值相比,0—40 cm 土层 CK(对照)和各处理土壤全盐含量均有不同程度地降低,CK 土壤盐分在 60—80 cm 土层累积,而施用脱硫石膏后同一淋洗水量(T3)下的土壤盐分在 80—100 cm 土层累积,这是因为施用脱硫石膏能够为土壤中 Na⁺-Ca²⁺ 交换体系提供充足的 Ca 源,

Ca^{2+} 将土壤胶体中的 Na^{2+} 代换出来,在淋洗条件下更有利于土壤剖面脱盐。

从土壤 pH 变化来看,与初始值相比,0—20 cm 土层,CK 土壤 pH 增加了 0.50,各处理土壤 pH 则均低于初始值,其中 T2 土壤 pH 降低了 0.65,pH 降低的主要原因是 $\text{Na}^{+}-\text{Ca}^{2+}$ 交换机制的作用^[11];20—40 cm 土层,CK 土壤 pH 增加了 0.84,T1 和 T2 土壤 pH 低于初始值,且随着淋洗水量的增加土壤 pH 呈增加趋势;40—60 cm 土层,CK 土壤 pH 增加了 0.29,T1 土壤 pH 值低于初始值,随着淋洗水量的增加土壤 pH 呈增加趋势;60—80 cm 土层,各处理土壤 pH 值均高于初始值;80—100 cm 土层,各处理土壤 pH 值有不同程度的下降或持平。说明轻中度淋洗有助于降低土壤 pH,但随着淋洗水量的增加,土壤中碳酸盐由于 Ca^{2+} 的流失而加速水解,导致 HCO_3^{-} 的浓度逐渐升高而使 pH 提高^[12],由此可见,即使在施用脱硫石膏情况下,较大水量的淋洗也有可能加剧土壤碱化,碱性增强将是脱盐过程中不可忽视的负面影响。

2.2 不同淋洗水量对土壤剖面含水率和脱盐率的影响

由图 2 可知,0—40 cm 土层土壤含水率随淋洗水量的增加变化较为平缓,这是由于当淋洗水量达到一定程度,上层土壤出现一个含水量接近饱和的区域,其含水量随时间变化不大。同一淋洗水量下,0—20 cm 土层 T3 土壤含水率略低于 CK,20—40 cm 土层 T3 土壤含水率高于 CK,认为是由于脱硫石膏的施用改善了土壤孔隙结构、提高了土壤入渗能力所致^[13]。40—100 cm 土层土壤含水率随着淋洗水量的增加呈先增加较快后缓慢增加的趋势,其中 T4 比 T3 同一层次土壤含水率仅增加了 1.44%~4.09%,说明过高的淋洗水量对土壤水分下渗没有积极影响,还会造成灌溉水的浪费。

从土壤剖面脱盐率来看,施用脱硫石膏情况下,随淋洗水量的增加 0—20 cm 土层土壤脱盐率变化较为平缓,不同处理土壤脱盐率在 84.39%~95.41% 之间;20—40 cm 土层,淋洗水量从 T1 增加到 T2,土壤脱盐率从 13.91% 急剧增加到 83.61%,T3 和 T4 土壤脱盐率较为接近,分别为 92.15% 和 91.99%;40—60 cm 土层,T1 土壤含盐量较原始土样增加了 278.33%,这是由于 0—40 cm 土层土壤盐分淋洗至该层的缘故,当淋洗水量从 T2 增加到 T3、T4,该土层土壤脱盐率依次从 11.18% 增加到 71.55%,80.21%;60—80 cm 土层,T2 土壤盐分均较原始土样增加了 30.17%,T3 和 T4 土壤脱盐率分别为 50.44%,56.23%;80—100 cm 土层 T2、T3 和 T4 土壤盐分较原始土样分别增加了 338.21%,163.62%,116.80%,T3 和 T4 可以收集到淋洗液,土壤剖面部分盐分淋洗至 1 m 以

下。若土壤计划脱盐深度在 40—60 cm 土层,淋洗水量达到 36 cm 即可;脱盐深度在 60—80 cm 土层,则淋洗水量需达到 48 cm。综上所述,随着淋洗水量的增加,土壤脱盐率增加,但呈先急剧增加后缓慢增加趋势,且随土层深度的增加,脱盐率迅速减小,体现了水盐运行规律。

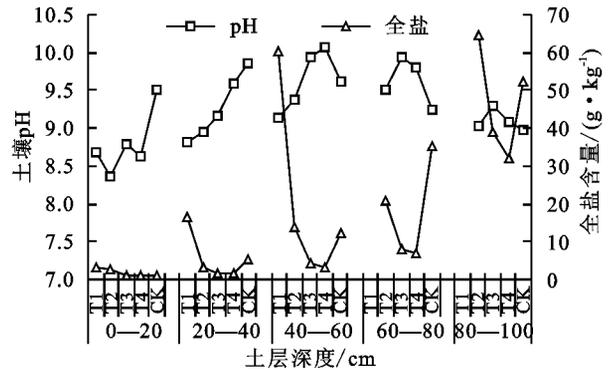


图 1 不同淋洗水量对土壤剖面 pH 值和全盐含量的影响

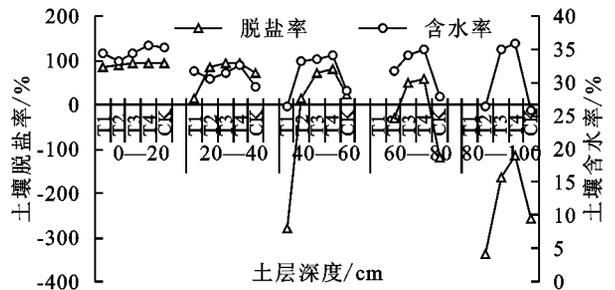


图 2 不同淋洗水量对土壤剖面脱盐率和含水率的影响

2.3 不同淋洗水量对主要盐分离子脱盐率的影响

由图 3 和表 1 可知,0—40 cm 土层主要盐分离子 Na^{+} 、 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 含量与土壤本底值相比,均有不同程度的下降,在低淋洗水量下(淋洗水量为 24 cm), Cl^{-} 、 Na^{+} 、 SO_4^{2-} 在 40—60 cm 土层累积,在高淋洗水量下则继续往下运移,当淋洗水量达到 60 cm 时, SO_4^{2-} 、 Na^{+} 在 80—100 cm 土层累积, Cl^{-} 则运移至 100 cm 土层以下,其运移速度明显大于其他 2 个离子,施用脱硫石膏明显加快了 Na^{+} 、 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 3 种离子的淋洗。 Cl^{-} 运移速度最快,可能是因为 Cl^{-} 与其他离子相比是最易活动的离子,且 Cl^{-} 带负电荷,与土壤颗粒所带的电荷相同,它们之间产生排斥力, Cl^{-} 便于脱离土壤颗粒随水溶液迁移而移动^[14]。随着淋洗水量的增加,土壤剖面盐类逐渐转化为硫酸盐类型。

由图 4 可知,0—20 cm 土层 Cl^{-} 、 Na^{+} 溶脱率随淋洗水量的增加变化不大,在低淋洗水量下, SO_4^{2-} 溶脱率低于 Na^{+} 和 Cl^{-} ,在高淋洗水量下,3 种离子溶脱率接近,这与土壤中 SO_4^{2-} 含量远高于其他 2 个离子以及土壤胶体带负电荷阴离子产生排斥力有关;20—40 cm 土层,主要盐分离子溶脱率由大到小依次为 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 、 Na^{+} ,各离子溶脱率随淋洗水量的增加先增加较快后趋于平缓,与 CK 相比,施用脱硫石膏对 0—20

cm 土层 Na^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 含量溶脱率影响不大,但明显增加了 20—40 cm 土层 SO_4^{2-} 和 Na^+ 的溶脱率。

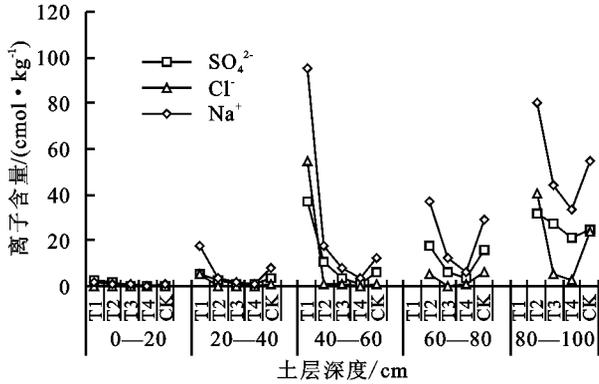


图 3 不同淋洗水量对土壤剖面主要盐分离子含量的影响

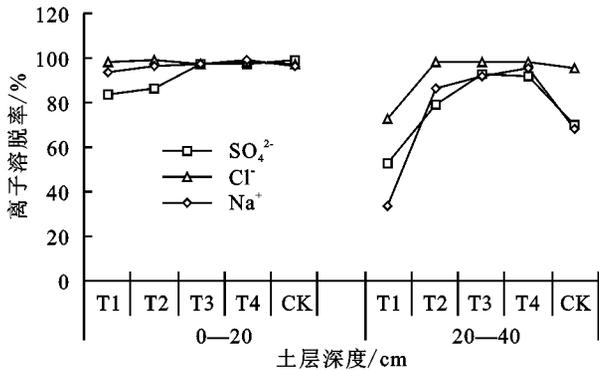


图 4 不同淋洗水量对 0—40 cm 土层主要盐分离子溶脱率的影响

3 结论

各土层土壤剖面全盐含量随着淋洗水量的增加而降低,CK 土壤盐分在 60—80 cm 土层累积,而施用脱硫石膏后同一淋洗水量下的土壤盐分在 80—100 cm 土层累积。施用脱硫石膏情况下,适度的淋洗有助于降低 0—40 cm 土层土壤 pH,较大水量的淋洗会导致土壤呈碱化现象;随着淋洗水量的增加,土壤脱盐率增加,0—20 cm 土层土壤脱盐率为 84.39%~95.41%,20—40 cm 土层土壤脱盐率为 13.91%~92.15%,呈先急剧增加后缓慢增加趋势,且随土层深度的增加,脱盐率迅速减小;土壤含水率随着淋洗水量的增加呈先增加较快后缓慢增加的趋势,施用脱硫石膏有助于水分下渗;施用脱硫石膏明显加快了 Na^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 3 种离子的淋洗,0—20 cm 土层 Cl^- 、 Na^+ 溶脱率随淋洗水量的增加变化不大,在低淋洗水量下, SO_4^{2-} 溶脱率低于 Na^+ 和 Cl^- ,在高淋洗水量下,3 种离子溶脱率接近;20—40 cm 土层主要盐分离子溶脱率由大到小依次为 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ ,各离子溶脱率随淋洗水量的增加先增加较快后趋于平缓;主要盐分离子 Cl^- 、 Na^+ 、 SO_4^{2-} 在低淋洗水量下在 40—60 cm 土层累积,在高淋洗水量下则继续向下转移,当淋洗水量达到 60 cm 时, SO_4^{2-} 、 Na^+ 在 80—100 cm 土层累积, Cl^- 则转移至 100 cm 土层以下。

以上研究结果并不适用于干旱半干旱地区旱作条件下和缺少灌水条件下的土壤,这是因为旱作条件下田间无法做到连续灌水,单次灌水量也无法达到如此高的水量,或者由于蒸发量太大土壤透水性太差所灌水通过蒸发损失掉。由于试验土样采集地点位于宁夏银北灌区的低洼地段,地下水埋深较浅,土壤盐化和碱化都很严重,具有灌溉条件,此区域更适合种植水稻,该研究结果对试区稻作条件下的土壤改良则具有一定参考价值。笔者在样品采集地进行了 1 年水稻种植试验结果也证实,施用脱硫石膏的处理当年即可获得 1 983 kg/hm² 的水稻产量。

参考文献:

- [1] 王静,许兴,肖国举,等. 脱硫石膏改良宁夏典型龟裂碱土效果及其安全性评价[J]. 农业工程学报, 2016, 32(2): 141-147.
- [2] 房宸,苏德荣,端温文,等. 脱硫石膏与灌溉耦合对滨海盐碱土化学性质的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(5): 59-63.
- [3] 黄菊莹,余海龙,孙兆军,等. 添加燃煤脱硫废弃物和专用改良剂对碱化土壤和水稻生长的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(1): 70-74.
- [4] 陈永伟,马琨,胡景田,等. 脱硫废弃物改良盐碱地对水稻生长发育及土壤的影响[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 2011, 32(3): 288-293.
- [5] 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, 2012(2): 49-53.
- [6] 王云贺,王志春,杨帆,等. 不同改良物质对苏打碱土盐碱度及水稻生长的影响[J]. 华南农业大学学报, 2013, 34(4): 445-449.
- [7] 张林,邵孝侯,王振宇,等. 不同蓄水时间下滨海盐土盐分淋失规律研究[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(2): 51-54.
- [8] 翟亚明,何德舜,季亚辉. 天津滨海地区原生盐碱土盐分淋洗规律研究[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(5): 65-68.
- [9] 樊丽琴,杨建国,尚红莺,等. 淋洗水质和水量对宁夏龟裂碱土水盐运移的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(6): 258-262.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 192-198.
- [11] 陈巍,陈邦本,沈其荣. 滨海盐土脱盐过程中 pH 变化及碱化问题研究[J]. 土壤学报, 2000, 37(4): 521-528.
- [12] 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): 5-10.
- [13] 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): 120-123.
- [14] 郭全恩. 土壤盐分离子迁移及其分异规律对环境因素的响应机制[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.