

doi: 10.11838/sfsc.20160322

脱硫石膏施用下宁夏龟裂碱土水盐运移特征

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, 宁夏 银川 750002)

摘要: 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龟裂碱土水盐运移影响的研究, 结果表明: 脱硫石膏施用下龟裂碱土随着入渗时间的增加, 湿润锋深度和累积入渗水量呈先急剧增加再缓慢增加的趋势; 0~20 cm 土层土壤 pH 值、碱化度和全盐量均有较大幅度的降低; 连续淋洗条件下, 最大脱盐深度位于 40~60 cm 土层; 0~40 cm 土层, 随入渗水量的增加土壤脱盐率缓慢增加, 其中 0~20 cm 土层处理 1 到处理 4 土壤脱盐率分别为 79.72%、89.88%、91.93% 和 92.22%; 随淋洗水量的增加, 0~20 cm 土层主要盐分离子易于溶脱的顺序为 $Mg^{2+} > Cl^{-} > SO_4^{2-} > Na^{+} > HCO_3^{-}$, Mg^{2+} 溶脱率最大, 可达到 100%, 20~40 cm 土层主要盐分离子易于溶脱的顺序为 $Na^{+} > Cl^{-} > Mg^{2+}$, Na^{+} 溶脱率最大, 可达到 91.42%, HCO_3^{-} 和 SO_4^{2-} 含量则先增加后降低, 0~40 cm 土层 Na^{+} 、 Cl^{-} 、 Mg^{2+} 随淋洗水量的增加淋洗效果更为明显。

关键词: 龟裂碱土; 土柱淋洗试验; 脱硫石膏; 淋洗水量; 水盐运移

中图分类号: S152 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-6257 (2016) 03-0134-06

我国是世界上盐碱土分布面积最大的国家之一, 据农业部第二次全国土壤普查资料统计, 我国盐渍土面积为 $34.67 \times 10^6 \text{ hm}^2$ (不包括滨海滩涂), 其中盐土为 $16 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 碱土为 $86.66 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 各类盐化碱化土壤 $16 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。龟裂碱土属于盐碱土纲碱土类盐渍龟裂碱土亚类, 是荒漠草原和荒漠地区的特殊碱化土壤, 主要分布在新疆、宁夏银川平原和内蒙古河套平原的西部^[1], 其矿物组成以伊利石和高岭土为主, 碱化度高, pH 值在 9 以上, 且质地粘重, 土粒分散度高、湿时吸水膨胀, 干时收缩板结, 透水性差, 传统冲洗技术脱盐脱碱效果差。如何在有限的水资源的条件下, 快速降低土壤交换性钠含量, 加速脱盐是需要解决的技术难点。

目前碱化土壤和碱土通过加入石膏增加土壤中的 Ca^{2+} 以置换土壤胶体上的 Na^{+} 的改良方法被广泛认可^[2-4], 但由于纯石膏价格昂贵, 且在工业上有较高使用价值, 在农业生产中大规模应用石膏改良碱土并不可行。近年来, 一些学者研究发现, 燃

煤电厂烟气脱硫过程形成的副产物可作为石膏的低值替代品, 用来改良盐碱地, 不仅避免了副产物贮存过程中的二次污染, 而且具有良好的经济效益和生态效益^[5-8]。一些研究也证实用脱硫石膏改良宁夏典型龟裂碱土是有效的和可行的^[9]。目前有关脱硫石膏施用下宁夏龟裂碱土土壤水盐运移特征的研究还不够深入。为此, 笔者拟通过室内土柱模拟试验, 研究脱硫石膏施用下淡水不同淋洗水量对龟裂碱土土壤剖面主要盐分离子迁移的影响, 探讨龟裂碱土土壤剖面盐分与淋洗水量的定量化关系, 为宁夏龟裂碱土的改良提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试土样

供试土样取自宁夏石嘴山市平罗县前进农场 ($38^{\circ}50' \text{ N}$, $106^{\circ}24' \text{ E}$), 按土层 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 采集土样, 测定土壤容重、机械组成、盐分、pH 值和碱化度, 土壤容重依次为 1.64、1.58、1.67、1.72、1.57, 土壤盐分、pH 值和碱化度测定结果见表 1。采集的各层土壤分别进行自然风干、碾压、去杂、过 2 mm 筛备用。

由表 1 可看出, 供试土样 pH 值和碱化度都很高, pH 值大于 10, 碱化度大于 42%。盐分表聚现

收稿日期: 2015-03-16; 最后修订日期: 2015-05-24

基金项目: 宁夏自然科学基金项目 (NZ13121); 国家科技支撑计划课题 (2013BAC02B05); 宁夏农林科学院科技创新先导资金项目 (NKYG-14-26)。

作者简介: 樊丽琴 (1979-), 女, 河南漯河人, 硕士, 副研究员, 主要从事土壤改良研究。E-mail: fanlqnx@126.com。

象明显, 0~20 cm 土层全盐含量为 10.5 g/kg, 其他土层则低于 4 g/kg。盐离子中含量最高的是 Na^+ , 其次是 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 。土壤机械组成

测定结果表明: 0~20 cm 土层土壤质地为粘壤土, 20~60 cm 土层土壤质地为粘土, 60~100 cm 土层土壤质地为粘壤土。

表 1 试验土样剖面容重、pH 值、和盐分测定结果

土层 (cm)	pH 值	碱化度 (%)	全盐 (g/kg)	分盐 (cmol/kg)								
				CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	
0~20	10.46	52.92	10.50	0.28	3.91	4.83	3.08	0.07	2.64	0.24	10.13	
20~40	10.38	53.98	3.08	0.25	2.12	0.37	1.24	0.07	0.89	0.06	3.91	
40~60	10.33	43.19	2.55	0.21	1.74	0.24	0.53	0.05	0.92	0.04	2.61	
60~80	10.32	43.03	1.90	0.25	1.95	0.14	0.28	0.03	0.81	0.04	1.30	
80~100	10.85	42.62	1.71	0.35	1.48	0.05	0.12	0.07	1.13	0.04	1.30	

1.2 研究方法

使用内径为 28 cm、高度为 110 cm 有机玻璃土柱开展试验, 土柱底部装有 2 cm 厚石英砂作为反滤层, 土柱下方装有接排出液容器。装填土柱时按取样层次, 每次装填的高度为 5 cm, 每次装填的重量为: $W = V \cdot \gamma (1 + S)$, 式中: V —每次装入土体体积 (cm^3); γ —天然土体干容重 (g/cm^3); S —室内土壤含水量 (%). 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 土层土壤含水率依次为 1.58%、1.64%、1.92%、2.88%、4.95%。在每次装入 W (g) 土壤后, 用自制的压实器进行土壤压实, 使其达到规定的土柱高度。为利于层与层之间的结合, 在每次装填土样前要在分层处刨毛。0~20 cm 土层土样装填时, 将该层所需土样与脱硫石膏充分混合后再填充, 脱硫石膏施用量为 140 g (按 22.5 t/hm²而定)。脱硫石膏来自宁夏马莲台电厂, 经测定其 pH 值为 7.98, CaSO_4 含量为 82.41%, 含有少量的 Mg、Na、K、Cl 等元素。

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), 每个处理重复 2 次。为防止灌水时扰动土壤, 影响观察土壤落干情况, 灌水之前在土壤表层覆盖 2 层滤纸, 灌水之后土柱上端开口处用保鲜膜覆盖, 并在其上面插 4 个小孔保持灌溉水压不变。用量筒分次加入, 首次加入量为 8 L, 在首次灌水入渗完毕 8 h 之后再进行第二次灌水, 处理 2 至处理 4 继续用量筒加入 8 L (处理 1 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 (各处理最后一次加入水量不同), 直至达到规定灌水量。试验期间水位保持在 4~8 cm 之间。试验过程中记录入渗时间、

入渗水量和湿润锋位置, 试验结束后测量各土柱剖面土壤含水率、pH 值、碱化度、盐分及其组成。

各测试项目分析方法如下: 土壤机械组成用激光粒度分析仪测定, 土壤容重用环刀法测定, 含水率用烘干法测定, 全盐 (1:5 土水比) 使用雷磁 DDS-307A 型电导率仪测定, pH 值用梅特勒实验室 pH 计测定 (1:2.5 土水比), 盐分组成中 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 用双指示剂—中和滴定法测定, SO_4^{2-} 用 EDTA 间接络合滴定法测定, Cl^- 用硝酸银滴定法测定, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 用 EDTA 络合滴定法测定, K^+ 、 Na^+ 用火焰光度计法测定。土壤碱化度 (%) = 交换性钠 $\times 100$ / 阳离子交换量, 交换性钠用 $\text{NH}_4\text{OAc} - \text{NH}_4\text{OH}$ 火焰光度计法测定, 阳离子交换量用乙酸钠法测定, 根据测得的交换性钠和阳离子交换量计算土壤碱化度。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤湿润锋和入渗水量的影响

试验所用淡水为黄河水, pH 值为 8.14, 矿化度为 0.54 g/L。含 HCO_3^- 5.41 mmol/L、 SO_4^{2-} 1.22 mmol/L、 Cl^- 1.32 mmol/L、 Ca^{2+} 1.33 mmol/L、 Mg^{2+} 1.22 mmol/L、 K^+ 0.05 mmol/L、 Na^+ 3.26 mmol/L, 钠吸附比为 2.04 (mmol/L)^{0.5}。

由图 1 可看出, 随着入渗水量的增加, 湿润锋深度增加, 二者呈线性关系。式中: y 为入渗水量 (cm); x 为湿润锋 (cm); R^2 为相关系数。

由图 2 和图 3 可看出, 随着入渗历时的增加, 湿润锋深度和累积入渗水量均呈先急剧增加再缓慢增加的趋势。各处理入渗历时分别为 5、21、49、71 d, 最高淋洗水量的处理达到 1 m 淋洗深度历时

16 d。由于龟裂碱土具有容重高、孔隙度小、饱和和导水率低的特点,随着淋洗水量的增加,虽然土壤脱盐深度增加,但土壤水分下渗速度变得很慢,连续淋洗条件下,当淋洗水量达到 48 cm 时,入渗历时达 49 d,以上试验结果并不适合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改良,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,但若有灌溉条件,可以在稻作条件下进行土壤改良,稻田田面需要保持一定水层,本试验结果则具有一定参考价值。

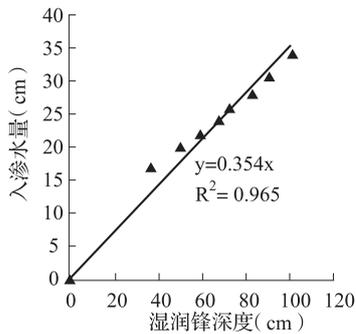


图1 湿润锋与入渗水量的关系

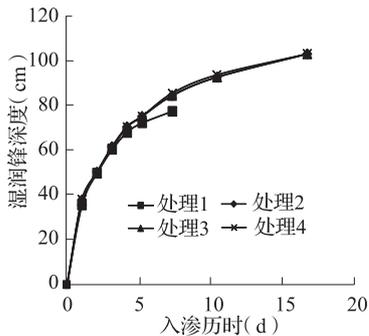


图2 不同淋洗水量下湿润锋变化过程

注:处理1:淋洗水量为 24 cm;处理2:淋洗水量为 36 cm;处理3:淋洗水量为 48 cm;处理4:淋洗水量为 60 cm,下同。

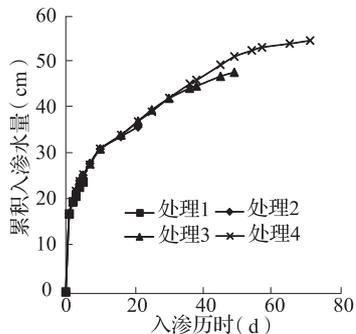


图3 不同淋洗水量下入渗水量变化过程

2.2 不同处理对土壤剖面 pH 值、碱化度、全盐和盐分组成的影响

由表 1、表 2 可看出,与土壤初始值相比,各处理 0~20 cm 土层土壤 pH 值和碱化度随淋洗水量的增加呈先迅速降低后缓慢增加趋势。pH 值和碱化度降低的主要原因是 $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$ 交换机制的作用^[10],升高则可能是由于随着淋洗水量的增加, Ca^{2+} 淋失,相应提高了 HCO_3^- 含量所致^[11],由此可见,即使在施用脱硫石膏情况下,较大水量的淋洗依然会导致土壤再次呈现碱化现象。由表 2 还可看出,20 cm 以下土层土壤 pH 值与初始值相比并无显著降低,这是由于脱硫石膏仅施于 0~20 cm 土层的缘故。由图 4 可看出,从土壤剖面盐分变化来看,连续淋洗条件下,土壤最大脱盐深度位于 40~60 cm 土层,0~40 cm 土层随入渗水量的增加土壤脱盐率缓慢增加,其中 0~20 cm 土层处理 1 至处理 4 土壤脱盐率分别为 79.72%、89.88%、91.93%、92.22%,这是因为施用脱硫石膏能够为土壤中 $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$ 交换体系提供充足的 Ca 源, Ca^{2+} 将土壤胶体中的 Na^+ 代换出来,在淋洗条件下更有利于土壤剖面脱盐;20~40 cm 土层各处理土壤脱盐率分别为 19.58%、28.10%、28.10%、30.08%;40~60 cm 土层,处理 1 至处理 3 土壤含盐量较初始土样分别增加了 70.86%、27.79% 和 14.08%,处理 4 土壤含盐量较初始土样略有下降;60~80 cm 土层,处理 2 至处理 4 土壤含盐量均有不同程度的增加,分别较初始土样增加了 155.88%、82.44% 和 60.57%;80~100 cm 土层处理 2 至处理 4 土壤含盐量继续增加,分别较初始土样增加了 425.18%、471.43% 和 381.56%。综上所述,龟裂碱土 0~40 cm 土层土壤脱盐率随着淋洗水量的增加而增加,但随土层深度的增加,上层土壤中的盐分淋洗至下层导致下层土壤中的盐分呈现不同程度的增加,体现了“盐随水来、盐随水去”的水盐运移规律。

从水分入渗的剖面特征(图 5)可看出,淋洗水量从处理 1 增加到处理 3,0~40 cm 土层土壤含水率随淋洗水量的增加变化较为平缓,当淋洗水量达到处理 4 水平时,0~40 cm 土层土壤含水率有一个较大的增加,这是由于当入渗水量达到一定程度,上层土壤含水量接近饱和,而 40~80 cm 土层土壤容重较大,土壤水分下移受到阻隔,上层土壤出现积水现象所致。

表 2 不同处理土壤剖面 pH 值、盐分测定结果

处理	土层 (cm)	pH 值	全盐 (g/kg)	盐分 (cmol/kg)								碱化度 (%)
				CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	
1	0~20	8.81	2.13	0.07	1.75	0.74	0.17	0.13	0.20	0.03	2.61	19.99
	20~40	10.09	2.47	0.27	2.31	0.69	1.01	0.07	0.41	0.00	1.74	39.59
	40~60	10.23	4.36	0.40	2.18	1.33	0.83	0.07	0.54	0.01	3.48	53.98
	60~80	9.81	11.22	0.20	2.11	5.24	7.19	0.07	5.45	0.04	7.83	67.48
2	0~20	9.12	1.06	0.00	1.08	0.25	0.14	0.05	0.08	0.01	1.30	10.38
	20~40	10.08	2.21	0.07	2.56	0.52	0.53	0.03	0.49	0.04	1.30	55.37
	40~60	10.23	3.26	0.21	2.56	0.10	0.25	0.03	0.63	0.06	2.17	43.32
	60~80	10.25	4.86	0.25	2.22	1.44	1.49	0.07	2.88	0.17	4.35	49.07
	80~100	9.63	8.97	0.07	1.21	4.09	4.84	0.07	3.88	0.26	8.70	51.41
3	0~20	9.88	0.85	0.07	0.76	0.14	0.11	0.00	0.00	0.00	0.87	11.25
	20~40	10.22	2.21	0.54	1.42	0.40	0.30	0.07	0.47	0.00	1.30	47.13
	40~60	10.33	2.91	0.67	1.62	0.39	0.33	0.07	0.61	0.00	2.61	53.98
	60~80	10.30	3.47	0.47	0.88	1.19	1.16	0.07	0.75	0.01	2.61	61.85
	80~100	9.62	10.76	0.07	0.88	3.71	5.19	0.13	2.03	0.04	7.83	56.82
4	0~20	9.65	0.82	0.07	0.95	0.14	0.11	0.00	0.00	0.00	0.87	17.99
	20~40	10.18	2.15	0.40	1.08	0.35	0.25	0.00	0.34	0.00	1.30	41.24
	40~60	10.32	2.36	0.27	1.22	0.49	0.44	0.07	0.41	0.00	2.17	43.19
	60~80	10.33	3.05	0.67	0.54	0.84	0.74	0.00	0.61	0.00	2.17	39.12
	80~100	9.80	8.23	0.07	1.41	2.30	3.80	0.07	0.95	0.01	5.65	41.52

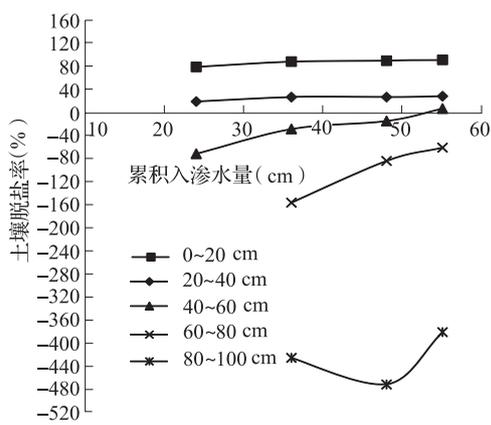


图 4 入渗水量对土壤剖面脱盐率的影响

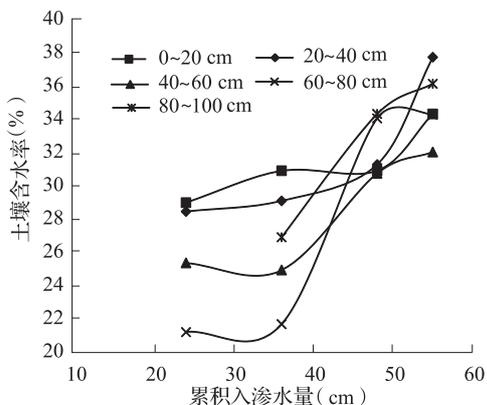


图 5 入渗水量对土壤剖面含水率的影响

从盐分离子的变化来看 (表 1、表 2、图 6、图 7), 与土壤初始值相比, 各处理 0~20 cm 土层主要盐分离子含量均有较大幅度的下降, 且 Mg²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、Na⁺ 等溶脱率随着淋洗水量的增加而增加, 不同处理 Mg²⁺ 溶脱率在 92.31%~100% 之间, Cl⁻ 溶脱率在 94.63%~96.34% 之间, SO₄²⁻ 溶脱率在 84.69%~97.14% 之间, Na⁺ 溶脱率在 74.25%~91.42% 之间, HCO₃⁻ 溶脱率随着淋洗水量的增加则呈先增加后下降趋势, 以上各离子溶脱率由大到小依次为 Mg²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、Na⁺、HCO₃⁻, 由于 0~20 cm 土层添加了外源 SO₄²⁻ 和 Ca²⁺, 故盐分离子溶脱率与前人的研究结论^[12-14] 并不完全一致, 也可能与土壤盐碱类型和灌水量有关; 20~40 cm 土层, 当淋洗水量介于处理 1 和处理 2 之间时, 与土壤初始值相比, HCO₃⁻、SO₄²⁻ 含量增加, SO₄²⁻ 含量增加可能与上层土壤和脱硫石膏中的 SO₄²⁻ 向下运移有关, Na⁺、Cl⁻、Mg²⁺ 含量则有不同程度的降低, 随着淋洗水量的进一步增加, HCO₃⁻ 含量快速下降至低于土壤初始值, 其他离子溶脱率表现为先增加较快后趋于平缓, 不同处理 Na⁺ 溶脱率在 55.56%~91.42% 之间, Cl⁻ 溶脱率在 18.52%~79.85% 之间, Mg²⁺

溶脱率在45.20% ~ 61.97% 之间, 按照脱盐率大小排序则为 $\text{Na}^+ > \text{Cl}^- > \text{Mg}^{2+} > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ 。以上分析可看出, 随淋洗水量的增加, 0 ~ 40 cm 土层 Na^+ 、 Cl^- 、 Mg^{2+} 等主要盐分离子含量下降较为明显, 阴离子中 Cl^- 溶脱率最大, 可能与 Cl^- 与其它阴离子相比是最易活动的离子有关^[15]。

在龟裂碱土淋洗过程中, 盐分随水分运移, 在入渗初期, 上层土壤盐分含量下降明显, 脱盐效率较高, 随着淋洗的进行, 上层土壤盐分会进一步向下运移, 由于土壤透水性差, 当运移至土壤深层时就会发生累积, 当淋洗水量大于 48 cm 时, 水分在土壤中的运移速度变得非常慢, 土壤淋洗脱盐时间会进一步延长, 脱盐效率也变得很低, 在宁夏龟裂碱土改良过程中, 仅通过耕层施用脱硫石膏然后灌溉淡水淋洗措施进行改良是达不到效果的, 还需结合脱硫石膏深施或其他土壤改良措施。

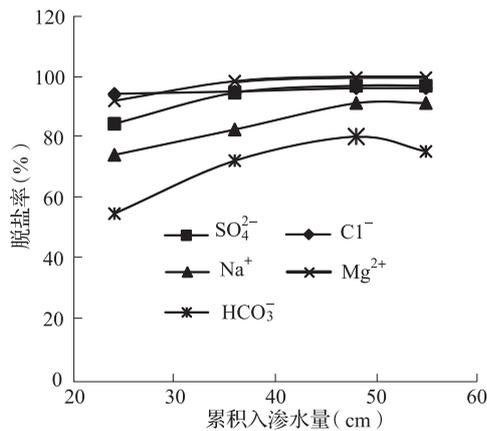


图6 入渗水量对 0 ~ 20 cm 土层盐分离子脱盐率的影响

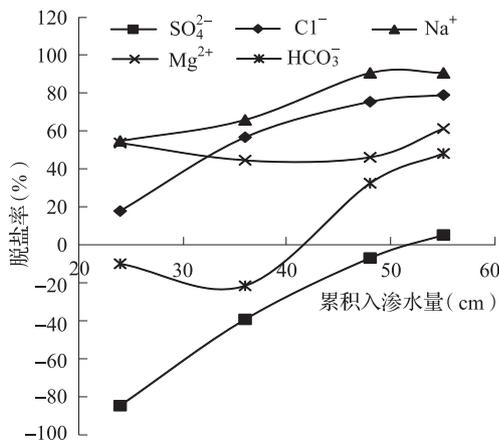


图7 入渗水量对 20 ~ 40 cm 土层盐分离子脱盐率的影响

3 结论与讨论

龟裂碱土入渗水量和湿润锋深度呈线性关系,

随着入渗时间的增加, 湿润锋深度和累积入渗水量呈先急剧增加再缓慢增加的趋势。0 ~ 20 cm 土层土壤 pH 值、碱化度和全盐均有较大幅度的降低, 但较大水量的淋洗会导致 0 ~ 20 cm 土层土壤再次呈现碱化现象, 碱性增强是脱盐过程中不可忽视的负面影响^[12]。连续淋洗条件下, 土壤最大脱盐深度位于 40 ~ 60 cm 土层, 0 ~ 40 cm 土层随入渗水量的增加土壤脱盐率增加缓慢, 其中 0 ~ 20 cm 土层处理 1、2、3 和 4 土壤脱盐率分别为 79.72%、89.88%、91.93%、92.22%, 20 ~ 40 cm 土层各处理土壤脱盐率分别为 19.58%、28.10%、28.10%、30.08%; 随淋洗水量的增加, 0 ~ 20 cm 土层主要盐分离子溶脱率由大到小依次为 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ , 但各离子脱盐率随淋洗水量的增加变化不大; 20 ~ 40 cm 土层主要盐分离子溶脱率由大到小依次为 Na^+ 、 Cl^- 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} ; Na^+ 、 Cl^- 、 Mg^{2+} 等溶脱率随淋洗水量的增加先增加较快后趋于平缓。0 ~ 20 cm 土层的 Na^+ 不能优先淋洗, 而 20 ~ 40 cm 土层的 Na^+ 优先淋洗, 可能与脱硫石膏与 0 ~ 20 cm 土层土壤接触时间过短, 大部分 Ca 源在发生 $\text{Ca}^{2+} - \text{Na}^+$ 置换前被淋洗到 20 ~ 40 cm 土层有关, 一些研究也证实, 脱硫石膏与土壤接触时间长短会对土壤 $\text{Ca}^{2+} - \text{Na}^+$ 置换体系产生影响^[16]。整体上 0 ~ 40 cm 土层 Na^+ 、 Cl^- 、 Mg^{2+} 等主要盐分离子含量随淋洗水量的增加淋洗效果更为明显。

由于室内土柱模拟试验条件所限, 本文中监测到的土壤水盐数据与田间实际观测结果会有差异, 试验结果尚需进一步补充完善。

参考文献:

- [1] 王遵亲. 中国盐渍土 [M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [2] Oster J D, Frenkel H. Chemistry of the reclamation of sodic soils with gypsum and lime [J]. Soil Science Society of America Journal, 1980, 44 (1): 41 - 45.
- [3] Ilyas M, Qureshi R H, Qadir M A. Chemical changes in a saline - sodic soil after gypsum application and cropping [J]. Soil Technology, 1997, 10 (3): 247 - 260.
- [4] 赵锦慧, 乌力更, 红梅, 等. 石膏改良碱化土壤中所发生的化学反应的初步研究 [J]. 土壤学报, 2004, 41 (3): 484 - 488.
- [5] 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.
- [6] 王金满, 杨培岭, 付梅臣, 等. 脱硫副产物改良苏打碱土的田间效应分析 [J]. 灌溉排水学报, 2008, 27 (2): 5 - 8.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [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] 尹建道, 姜志林, 曹斌, 等. 滨海盐渍土脱盐动态规律及其效果评价—野外灌水脱盐模拟实验研究 [J]. 南京林业大学学报 (自然科学版), 2002, 26 (4): 15-18.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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]. 西安: 西北农林科技大学, 2010.
- [16] 赵秀芳, 王晓颖, 张清, 等. 不同接触和淋洗时间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 (5): 64-67.

Characteristics of soil water and salt movement under applying desulfurization gypsum in takyric solonetz

FAN Li-qin, YANG Jian-guo, SHANG Hong-ying, ZHANG Yong-hong (Institute of Agricultural Resources and Environment, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750002)

Abstract: The effect of different leaching water volume on the soil water and salt movement of takyric solonetz under applying desulfurization gypsum was carried out by soil column leaching experiments in laboratory in this study. The results indicated that under applying desulfurization gypsum, the depth of wetting front with the amount of infiltrating water increased, and it showed linear relationship between them. Soil pH, exchangeable sodium percentage (ESP) and the total salt content in 0~20 cm soil layer dropped sharply. Under continuously leaching condition, the maximum desalt depth lied in 40~60 cm soil layer. In 0~40 cm soil layer, soil desalinization rate with the amount of infiltrating water slowly increased, and in 0~20 cm soil layer, the soil desalinization rates of treatment 1, treatment 2, treatment 3 and treatment 4 were 79.72%, 89.88%, 91.93% and 92.22% respectively. With the amount of leaching water increasing, the order in which the major ions in 0~20 cm soil layer was desalted from easy to difficult was $Mg^{2+} > Cl^{-} > SO_4^{2-} > Na^{+} > HCO_3^{-}$, and the rate of desalt of Mg^{2+} was up to 100%. The order in which the major ions in 20~40 cm soil layer was desalted from easy to difficult was $Na^{+} > Cl^{-} > Mg^{2+}$, and the rate of desalt of Na^{+} was up to 91.42%. The content of HCO_3^{-} and SO_4^{2-} first increased, then reduced. Na^{+} , Cl^{-} and Mg^{2+} in 0~40 cm soil layer had better leaching effect with the increasing of leaching water volume.

Key words: takyric solonetz; soil column leaching experiments; desulfurization gypsum; leaching water volume; water and salt movement