

离子型稀土矿山无铵开采工艺钠离子对典型植物和土壤的影响

党 晗¹, 刘 娟¹, 张启军¹, 任 锋¹, 许金石²

(1. 中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038; 2. 鲁东大学 生命科学学院, 山东 烟台 264025)

[摘要] 离子型稀土矿山开采工艺经历了多次改进,硫酸镁浸矿、氧化镁富集与钠盐除杂沉淀结合的工艺可以更好满足市场的需求,但引入的钠离子对土壤及植被的影响尚不清楚。本文根据矿山实际开采中使用的硫酸钠浓度,以典型植物和土壤为研究对象,通过种子萌发、种植实验与土壤土柱实验模拟浸矿过程中硫酸钠浓度对植物和土壤产生的影响。种子萌发和种植实验结果表明,硫酸钠浓度不高于0.5%时,对典型植物的种子发芽率、芽长、根长和生物量以及对植物的株数、株高、叶鲜重及干重影响较小,在植物可接受范围;土壤土柱实验结果表明,在实验浓度下,硫酸钠对土壤pH值影响较小;含盐量(SSC)与钠离子含量随硫酸钠浓度升高显著升高,清水淋洗过后SSC与钠离子含量显著降低,淋洗效果明显;土壤钠离子百分比(ESP)和饱和提取液电导率(EC)结果均低于钠质化土壤临界值,经清水淋洗过后均显著降低。上述结果说明钠离子进入山体也会对土壤环境造成一定的影响,开采结束后,进行清水淋洗,可以有效降低其对土壤环境的影响。

[关键词] 离子型稀土矿; 植物萌发; 胁迫实验; 土柱实验

[中图分类号] TF845 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-2423(2025)04-0035-08

DOI: 10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2025.04.006

0 引言

我国是世界上稀土资源最丰富的国家^[1-2],资源分布总体呈现“北轻南重”的特点,中重稀土主要来源于我国南方的离子吸附型稀土矿,仅江西省的储量,就占全国1/2以上^[3]。南方离子型稀土已有50余年的开采历史^[4],经过不断地研究与改进,开采工艺从池浸、堆浸转变为对生态环境更加友好的原地浸矿开采工艺。

原地浸矿使用的浸矿剂也经历了一系列的改

进。最初采用氯化钠溶液浸矿,但是大量的钠离子残留在矿体中,会导致土壤的钠质化,后来浸矿剂改为硫酸铵溶液,但过量氨氮造成的环境污染也成为其不可忽视的短板^[5-7];近年有学者提出以硫酸镁代替硫酸铵作为浸矿剂进行开采,以氧化镁作为沉淀剂进行稀土富集,该工艺可从根本上避免氨氮污染^[8],该工艺被证明对环境影响较为友好^[9-10]。但在不断生产与改进中发现,在该工艺中增加钠盐除杂沉淀,即采用氧化镁富集与钠盐除杂沉淀结合运行的方式,可以更好地满足市场的需求。

然而,引入钠盐后无疑向矿山环境中引入了新的污染源。有研究指出,大量的钠离子会对植物生长和土壤环境造成严重影响^[11-13]。本文根据矿山实际开采中使用的钠盐浓度,以典型植物和土壤作为研究对象,研究生产中引入的钠离子对环境造成的影响,验证钠盐沉淀工艺的可行性,为矿山后续开采活动提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 植物钠盐胁迫实验

1.1.1 种子萌发胁迫实验

胁迫材料为实际生产过程中使用的钠盐——硫

[收稿日期] 2025-05-16

[基金项目] 国家重点研发课题“离子型稀土矿区生态修复与治理技术及环境影响分析”(2021YFC2902204)。

[作者简介] 党晗(1992—),女,硕士,工程师,主要从事环保咨询、植被生态研究等工作。

[引用格式] 党晗,刘娟,张启军,等.离子型稀土矿山无铵开采工艺钠离子对典型植物和土壤的影响[J].绿色矿冶,2025,41(4):35-42.

DANG Han, LIU Juan, ZHANG Qijun, et al. The influence of sodium ions on typical plants and soil in the ammonium-free mining process of ionic rare earth mines [J]. Sustainable Mining and Metallurgy, 2025, 41(4): 35-42.

酸钠(Na_2SO_4)。实验材料选取典型广布物种狗尾草(*Setaria viridis*, 禾本科 C_4 植物)、高羊茅(*Festuca elata*, 禾本科 C_3 植物)、青葙(*Celosia argentea*, 非禾本科 C_4 植物)及模式植物拟南芥(*Arabidopsis thaliana*, 非禾本科 C_3 植物)的种子。实验参考实际浸矿过程中硫酸钠的浓度进行梯度设置。

数取颗粒饱满的狗尾草、高羊茅、青葙、拟南芥种子,每50粒为一组,每组设置3个重复。硫酸钠浓度梯度设置为0.05%、0.1%、0.5%、1%、2%,即分别配制200 mL质量百分比为0.025%、0.1%、0.5%、1%、2%的硫酸钠溶液(表1),与200 mL纯水对照。连续3天无种子萌发时即停止实验。实验结束后,不保留苗。

种子平铺在用硫酸钠溶液湿润的双层滤纸中间,置于培养皿中在室温(25℃左右)条件下培养。每天记录发芽数(以胚根突破种皮、长度为种子一半时记为发芽种子),并根据滤纸干湿情况及时更换,更换时每次用微量注射器每皿加2 mL溶液,连续3天无新增发芽停止实验。实验结束时测定根长、苗高(芽长)、称植株生物量(因植株小,以每皿总鲜重计),观察根的生长形态并拍照记录。

表1 硫酸钠胁迫处理方法

编号	名称	处理方法
0	对照组	200 mL 纯水
1	0.05% 硫酸钠	0.1 g 硫酸钠定容至 200 mL
2	0.1% 硫酸钠	0.2 g 硫酸钠定容至 200 mL
3	0.5% 硫酸钠	1 g 硫酸钠定容至 200 mL
4	1% 硫酸钠	2 g 硫酸钠定容至 200 mL
5	2% 硫酸钠	4 g 硫酸钠定容至 200 mL

1.1.2 温室胁迫种植实验

实验材料选取典型广布物种狗尾草(C_4 植物)、高羊茅(C_3 植物)种子。实验参考实际浸矿过程中硫酸钠的浓度进行梯度设置。

采集南方离子型稀土矿山表层土壤混合搅拌过筛后备用。狗尾草和高羊茅种子分别进行胁迫种植实验胁迫处理分6组,每组3个重复,每个物种取18个直径约20 cm的花盆,每个花盆装土2 kg,每盆播种饱满的狗尾草/高羊茅种子50粒。不同处理编号分别为1、2、3、4、5,分别对应0.05%、0.1%、0.5%、1%、2%硫酸钠处理组。土壤处理见表2,稳定一个月。

实验在温室中进行,温度控制在24℃,保证实

验条件一致。每日观察成活率,观测株高,实验在第40天结束,测量植物的株高、根长,收集植物样品分组进行称鲜重(分为地上和地下部分),烘干后分别称干重,以备后续分析。

表2 胁迫种植实验土壤处理方法

编号	名称	处理方法
0	对照组	2 kg 混合表土
1	0.05% 硫酸钠	1 g 工业硫酸钠与 2 kg 土混匀
2	0.1% 硫酸钠	2 g 工业硫酸钠与 2 kg 土混匀
3	0.5% 硫酸钠	10 g 工业硫酸钠与 2 kg 土混匀
4	1% 硫酸钠	20 g 硫酸钠与 2 kg 土混匀
5	2% 硫酸钠	40 g 硫酸钠与 2 kg 土混匀

1.2 钠离子浸矿模拟土柱实验

土柱实验供试矿土取自赣州南方离子型稀土矿山,采样深度2~5 m,将稀土矿土样品充分混合,风干,粉碎,然后通过20目筛网进行筛分并置于阴凉干燥处保存,以备实验所用。

对照处理:处理后的矿山原土为对照组(CK),测定土壤pH值、含盐量(SSC)、钠离子含量、交换性钠离子百分比(ESP)、土壤饱和提取液电导率(EC)。

浸矿处理:淋滤液为硫酸钠溶液,钠离子浓度为100 mg/L、420 mg/L和2 000 mg/L。对应硫酸钠浓度为308.70 mg/L、1 296.52 mg/L、6 173.91 mg/L,每组淋滤500 mL溶液。待硫酸钠溶液穿透实验土柱后,采集处理后的不同高度土壤样品(上、中、下),测定土壤pH值、SSC、钠离子含量、ESP、EC。

清水淋洗处理:待硫酸钠穿透试验结束后,进行清水淋洗(去离子水),分别进行1 000 mL和3 000 mL清水淋洗组实验,利用蠕动泵将清水以一定流速(线流速控制在20 cm/d)注入土柱内,淋洗24 h后结束实验,测定淋洗后每组土柱上、中、下三层土壤的pH、SSC、钠离子含量、ESP、EC。

2 结果与分析

2.1 植物钠盐胁迫实验

2.1.1 种子萌发胁迫实验

种子萌发胁迫实验的种子发芽率如图1所示。由图1可知,在不同浓度硫酸钠胁迫下,植物种子发芽数均在第4~5天达到最大值。实验结束时,狗尾草种子经0.05%、0.1%、0.5%、1%、2%硫酸钠处理后,发芽率分别为对照组的82.5%、57.5%、

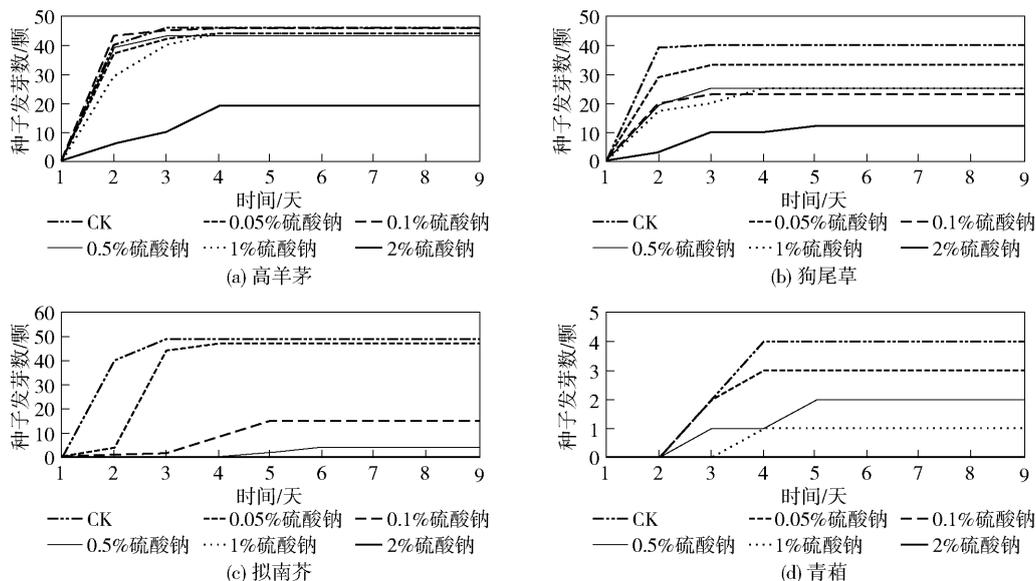


图1 不同浓度硫酸钠胁迫下种子发芽情况

62.5%、62.5%、30%；高羊茅种子发芽率分别为对照组的95.7%、100%、93.5%、95.7%、41.3%；拟南芥种子发芽率分别为对照组的95.9%、30.6%、8.2%、0%、0%；青箱种子发芽率分别为对照组的75%、50%、50%、25%、0%。实验结果表明，各物种发芽率均在硫酸钠浓度0.5%时表现出显著的下降低势，高羊茅种子在各浓度硫酸钠胁迫下的耐受性均为最高，发芽率受其胁迫影响最小，其次为狗尾草。拟南芥和青箱在低浓度硫酸钠胁迫下发芽率影响较小，在硫酸钠浓度大于0.5%胁迫反应明显。说明禾本科植物（高羊茅和狗尾草）本身具有更高的抗胁迫和适应能力，而拟南芥和青箱对胁迫的适应性较差。

种子萌发胁迫实验结束时种子芽长如图2所示。由图2可知，在不同浓度硫酸钠胁迫下，狗尾草种子经0.05%、0.1%、0.5%、1%、2%硫酸钠处理后，芽长分别为对照组的91.7%、83.3%、63.3%、41.7%、16.7%；高羊茅种子芽长分别为对照组的83.3%、83.3%、91.1%、55.6%、16.7%；拟南芥种子芽长分别为对照组的77.8%、55.6%、5.6%、0%、0%；青箱种子芽长分别为对照组的88.9%、66.7%、44.4%、11.1%、0%。总体上，随着硫酸钠胁迫浓度升高，各物种种子芽长表现出降低的趋势。高羊茅种子芽长对硫酸钠胁迫的耐受性更高，在浓度为1%时表现出显著降低趋势；狗尾草种子芽长在浓度0.5%时开始出现降低趋势。拟南芥和青箱在硫酸钠浓度0.1%时出现降低趋势。

种子萌发胁迫实验结束时种子根长如图3所示。由图3可知，经过0.05%、0.1%、0.5%、1%、

2%硫酸钠处理后，狗尾草种子根长分别为对照组的81.8%、63.6%、54.6%、5.5%、1.8%；高羊茅种子根长分别为对照组的83.3%、83.3%、72.2%、33.3%、1.1%；拟南芥种子根长分别为对照组的20%、0%、0%、0%、0%；青箱种子根长分别为对照组的87.5%、20%、12.5%、0%、0%。随着硫酸钠胁迫浓度升高，各物种种子根长均表现出降低的趋势。高羊茅和狗尾草种子根长对硫酸钠胁迫的耐受性更高，在硫酸钠浓度为1%时表现出显著降低趋势；拟南芥和青箱种子根长对胁迫相应更加明显，分别在浓度0.5%和0.1%时出现明显降低趋势。

种子萌发胁迫实验结束时种子重量如图4所示。由图4可知，经过0.05%、0.1%、0.5%、1%、2%硫酸钠处理后，狗尾草种子重量分别为对照组的88.7%、65.9%、63.6%、45.5%、11.4%；高羊茅种子重量分别为对照组的61.5%、62.1%、61.0%、41.0%、9.2%；拟南芥种子重量分别为对照组的60%、5%、1%、0%、0%；青箱种子重量分别为对照组的66.7%、40%、30%、3.3%、0%。总体上，随着硫酸钠胁迫浓度升高，各物种种子重量均表现出降低的趋势。高羊茅和狗尾草种子重量在浓度为1%时表现出显著降低趋势；拟南芥和青箱种子重量在浓度为0.1%时表现出明显降低趋势。

实验中，多数种子在纯水中发芽率最好，但高羊茅在0.1%硫酸钠溶液中发芽率最高，反映出钠盐胁迫对种子萌发的影响程度与胁迫的浓度与植物自身的耐盐能力有关，这与前人的研究结果一致^[14]。总体上，和对照组相比，硫酸钠浓度小于0.5%时，对物

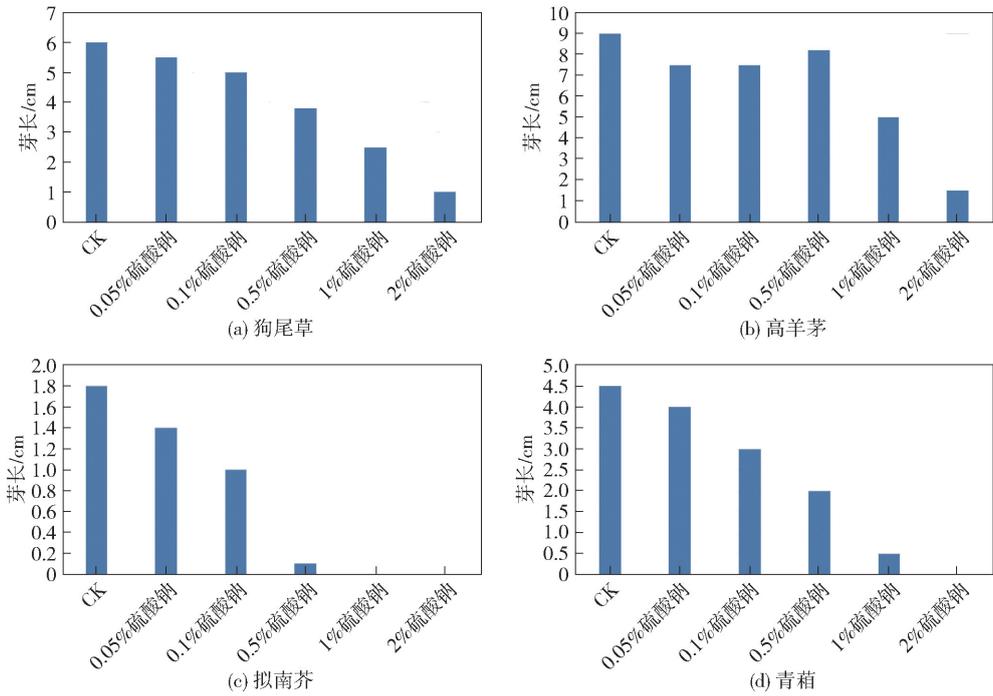


图 2 不同浓度硫酸钠胁迫下实验结束时种子芽长对比

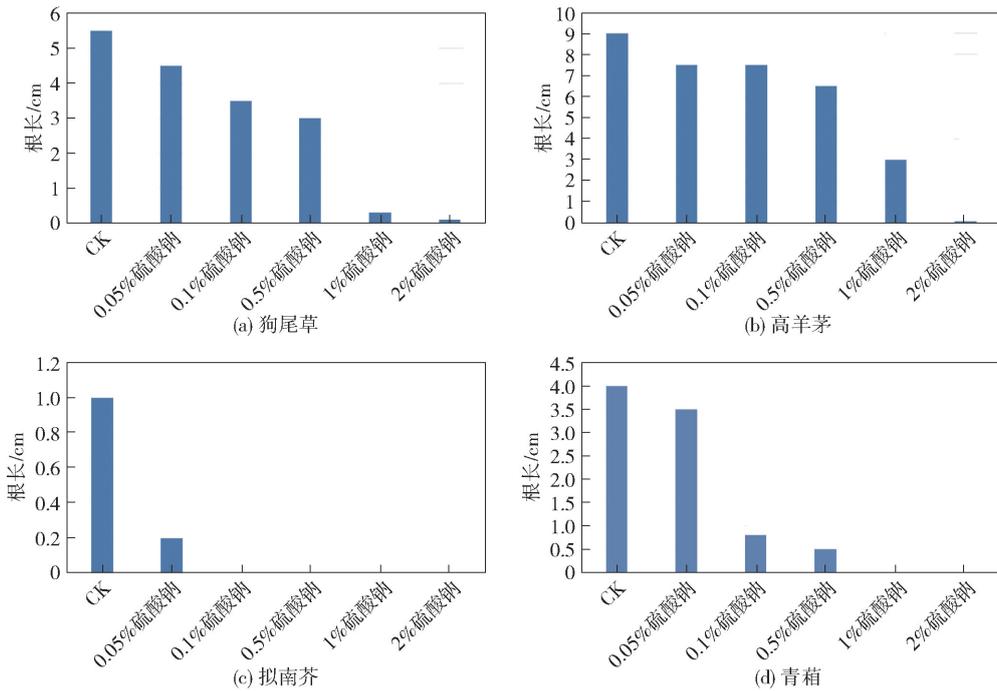


图 3 不同浓度硫酸钠胁迫下实验结束时种子根长对比

种的发芽率、芽长、根长和生物量抑制作用较小;硫酸钠浓度大于 0.5% 时抑制作用明显增强,说明随着钠离子浓度的增加,对种子的伤害作用增强。

高浓度钠盐对植物的胁迫机理主要通过渗透胁迫,造成种子吸水过程迟缓;胁迫浓度越高,对种子的伤害越强烈;高浓度钠盐也会产生离子毒害,破坏细胞膜的结构;较高浓度的盐分还会抑制种子的酶

活性,导致细胞不能进行正常的新陈代谢^[15-16]。

2.1.2 温室胁迫种植实验

不同梯度硫酸钠胁迫下高羊茅和狗尾草株数、株高及生物量变化趋势如图 5 所示。由图 5 可知,与对照组相比,不同梯度硫酸钠胁迫下高羊茅的株数和株高在第 20 天、第 30 天、第 40 天没有表现出明显变化,但随着硫酸钠浓度升高逐渐降低;高羊茅

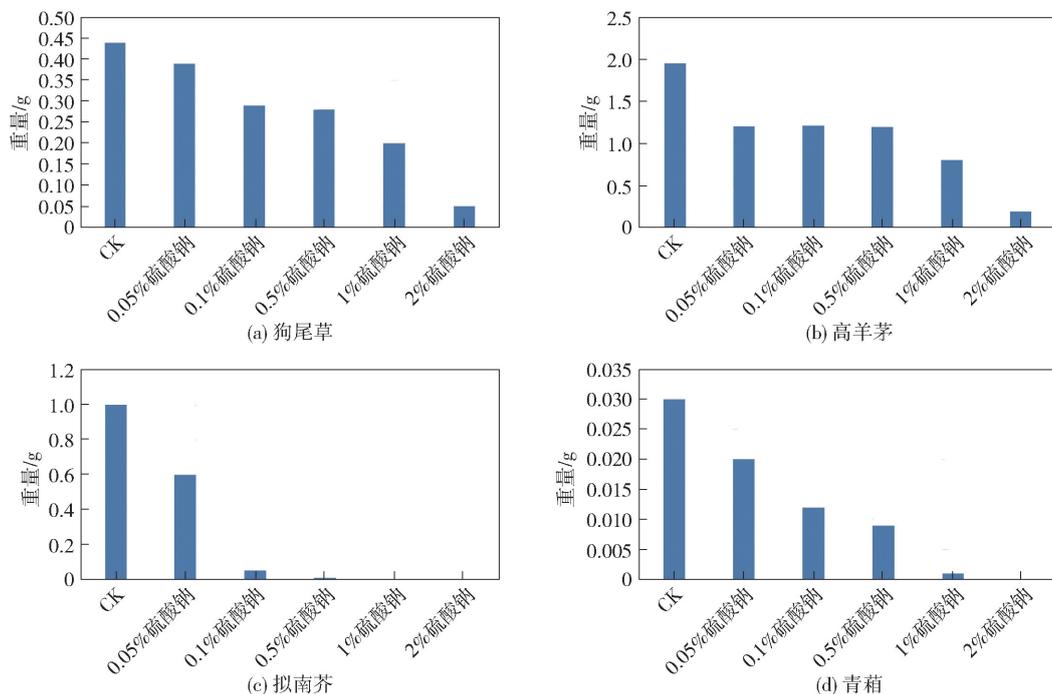


图4 不同浓度硫酸钠胁迫下实验结束时种子重量对比

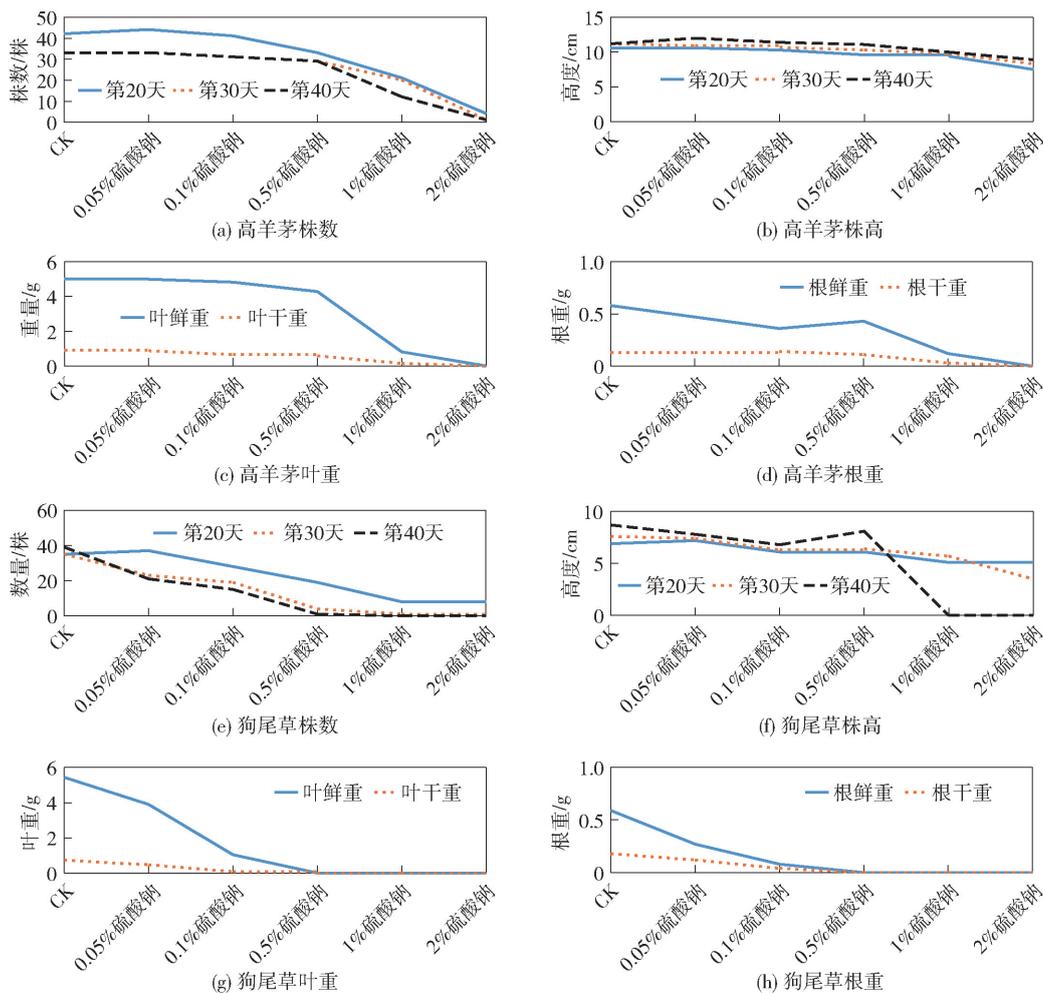


图5 不同梯度硫酸钠胁迫下高羊茅和狗尾草株数、株高及生物量变化趋势

的叶鲜重及干重在硫酸钠低浓度时没有表现出受到明显的胁迫作用,在硫酸钠浓度大于 0.5% 时表现出显著差异。在硫酸钠浓度大于 0.5% 时,狗尾草的株数、株高、叶鲜重及根干重在第 20 天、第 30 天、第 40 天均表现出显著差异。

以上结果说明,0.5% 的硫酸钠胁迫是影响植物生长的临界浓度,低浓度硫酸钠对种子发芽生长无明显影响,甚至有部分促进作用;高浓度硫酸钠则显示出明显抑制作用。本研究的结果与前人的结果一致^[17],各物种在高盐胁迫下出现出苗难、死苗严重、生物量严重减少的现象。产生这些现象的主要原因是高盐会破坏植物各器官细胞膜的结构和功能,导致生理代谢紊乱,降低了生长能力。

2.2 钠离子浸矿与淋洗土柱实验

钠离子浸矿与淋洗土柱实验结果如图 6 所示。由图 6 可知,对照组、浸矿组和清水淋洗组的土壤 pH 值没有明显差异(图 6(a));各组的 SSC 差异明显,浸矿组的 SSC 随钠离子浓度升高显著升高,但低/中浓度浸矿组中,SSC 均小于 1 g/kg,根据《环境

影响评价技术导则 土壤环境》(HJ 964—2018)附录 D 中土壤盐化分级标准,此时土壤表现为未盐化,但在高浓度浸矿组中,SSC 含量为 1~3 g/kg,土壤表现为轻度/中度盐化,清水淋洗过后 SSC 含量显著降低,淋洗效果明显(图 6(b));浸矿后土壤钠离子含量显著升高,在清水淋洗过后则表现出下降趋势,高浓度浸矿组淋洗效果尤其明显(图 6(c));ESP ≥ 15 是比较公认的区分钠质土和非钠质土的标准^[18],实验结果显示各组 ESP 均远小于 15,且经清水淋洗过后 ESP 有所下降,3 000 mL 清水淋洗效果优于 1 000 mL 清水淋洗(图 6(d));有研究提出 EC > 4 ds/m 时,土壤即为盐土^[19],图 6(e)显示,各组 EC 均远小于 4 ds/m,且浸矿组和淋洗组之间差异显著,清水淋洗过后 EC 显著降低,淋洗效果显著。

大量钠盐进入土壤后,必然导致钠离子含量和 ESP 的增加;土壤中阳离子的增加使得 SSC 和 EC 也随之增加,但 ESP 和 EC 并未达到钠质土的标准,经过大量的清水进行淋洗后,土壤中过量的钠离子被稀释排出,对土壤的影响会逐步降低。

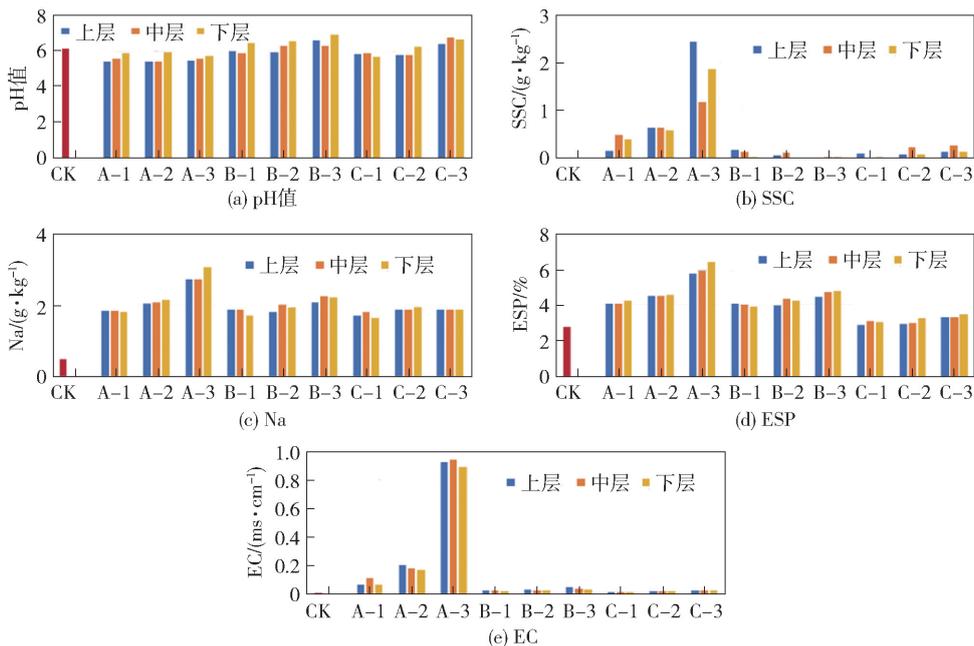


图 6 钠离子土柱模拟实验结果

注:CK 组为矿山原土;A 组为浸矿组,A-1 为 Na^+ 浓度 100 mg/L 浸矿处理组,A-2 为 Na^+ 浓度 420 mg/L 浸矿处理组,A-3 为 Na^+ 浓度 2 000 mg/L 浸矿处理组;B 组为浸矿(处理同 A 组)后清水 1 000 mL 淋洗组;C 组为浸矿(处理同 A 组)后,清水 3 000 mL 淋洗组。

3 结论

1) 硫酸钠浓度小于 0.5% 时,对物种的发芽率、芽长、根长和生物量抑制作用较小;浓度大于 0.5%

时,硫酸钠抑制作用明显增强。

2) 在硫酸钠浓度小于 0.5% 时,对植物的株数、株高、叶鲜重及干重抑制作用较小;硫酸钠浓度大于 0.5% 时,对植物的株数、株高、叶鲜重及干重抑制作

用明显。

3) 实验浓度下, 硫酸钠对土壤 pH 值影响较小; SSC 与钠离子含量随硫酸钠浓度升高显著升高, 低/中浓度浸矿组 SSC 表现为未盐化, 高浓度浸矿组 SSC 表现为轻度/中度盐化, 清水淋洗过后 SSC 与钠离子含量显著降低, 淋洗效果明显; 土壤 ESP 和 EC 结果均低于钠质化土壤临界值, 浸矿组和淋洗组之间差异显著, 清水淋洗过后均显著降低。

综上所述, 在硫酸钠浓度不高于 0.5% 时, 对典型植物的影响较小, 在可接受范围, 硫酸钠浓度大于 0.5% 会影响植物发芽与生长, 为避免钠离子不断累积对土壤和植物生长造成影响, 建议在矿山开采过程中密切关注进入矿体的钠离子含量, 在钠离子浓度累积达到临界值时采取一定的措施; 矿山开采结束后, 进行清水淋洗, 可以有效降低钠离子对土壤环境的影响。

[参考文献]

[1] 刘琦, 周芳, 冯健, 等. 我国稀土资源现状及选矿技术进展[J]. 矿产保护与利用, 2019, 39(5): 76-83.

[2] 王磊, 李少辉, 李永生, 等. 离子型稀土矿山智慧环境管理平台研究[J]. 中国矿山工程, 2024, 53(3): 76-79.

[3] TIAN Jun, YIN Jinqun, CHEN Kaihong, et al. Optimisation of mass transfer incolumn elution of rare earths from low grade weathered crust elution-deposited rare earth ore [J]. Hydrometallurgy, 2010, 103(1): 211-214.

[4] 池汝安, 田君, 罗仙平, 等. 风化壳淋积型稀土矿的基础研究[J]. 有色金属科学与工程, 2012, 3(4): 1-13.

[5] 贺伦燕, 冯天泽, 傅师义, 等. 硫酸铵淋洗从离子型重稀土矿中提取稀土工艺的研究[J]. 稀土, 1983(3): 1-8.

[6] 孙晖, 任锋, 张启军, 等. 离子型稀土镁盐浸矿开采工艺中环境特征因子控制要求初探[J]. 绿色矿冶,

2024, 40(3): 83-87.

[7] 肖燕飞, 黄小卫, 冯宗玉, 等. 离子吸附型稀土矿绿色提取技术研究进展[J]. 稀土, 2015, 36(3): 109-115.

[8] 孙东江, 王志勇, 王有霖, 等. 南方离子型稀土矿无铵开采工艺: 107217139A[P]. 2017-09-29.

[9] 张启军, 王旭, 任锋. 离子型稀土矿山无铵绿色开采对植物和土壤微生物的影响[J]. 有色冶金节能, 2022, 38(3): 82-85.

[10] 张启军, 王旭, 任锋. 离子型稀土矿山无铵绿色开采对典型生物的影响[J]. 有色冶金节能, 2022(3): 82-84.

[11] 赵辉, 张丽丽, 郭静远, 等. 氯化钠胁迫下模式植物狗尾草种子萌发期抗盐性鉴定与评价指标研究[J]. 热带作物学报, 2017, 38(12): 2273-2279.

[12] 林栖凤, 李冠一. 植物耐盐性研究进展[J]. 中国生物工程杂志, 2000, 20(2): 20-25.

[13] 裴书瑶. 不同钠盐微咸水灌溉对番茄生长及土壤理化性质的影响[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2023.

[14] 管博, 栗云召, 于君宝, 等. 不同温度及盐碱环境下盐地碱蓬的萌发策略[J]. 生态学杂志, 2011, 30(7): 1411-1416.

[15] 张秀玲. 盐胁迫对绿豆种子萌发的影响[J]. 北方园艺, 2008(4): 52-53.

[16] 李海燕, 丁雪梅, 周婵, 等. 盐胁迫对三种盐生禾草种子萌发及其胚生长的影响[J]. 草地学报, 2004, 12(1): 45-50.

[17] 贺军民, 余小平, 张健. 番茄种子吸湿-回干处理对盐胁迫伤害的缓解效应[J]. 园艺学报, 2000, 27(2): 123-126.

[18] 李小刚, 曹靖, 李凤民. 盐化及钠质化对土壤物理性质的影响[J]. 土壤通报, 2004, 35(1): 64-72.

[19] Tanji K K, Kielen N C. Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas. FAO irrigation and drainage paper No. 61[M]. Rome: FAO, 2002.

The Influence of Sodium Ions on Typical Plants and Soil in the Ammonium-free Mining Process of Ionic Rare Earth Mines

DANG Han¹, LIU Juan¹, ZHANG Qijun¹, REN Feng¹, XU Jinshi²

(1. China ENFI Engineering Corporation, Beijing 100038, China;

2. School of Life Sciences, Ludong University, Yantai 264025, China)

Abstract: The mining process of ionic rare earth mines has undergone many improvements. The combination of magnesium sulfate leaching, magnesium oxide enrichment and sodium salt precipitation can better meet the needs of the market, but the effect of sodium ions on soil and vegetation is still unclear. According to the sodium sulfate concentration used in the actual mining of the mine, this paper took typical

plants and soil as the research object, and simulated the influence of sodium sulfate concentration on plants and soil in the leaching process through seed germination, planting experiment and soil column experiment. The results of seed germination and planting experiments show that when the concentration of sodium sulfate is not higher than 0.5%, the seed germination rate, bud length, root length and biomass of typical plants, as well as the number of plants, plant height, leaf fresh weight and dry weight of plants, are less affected and within an acceptable range. The results of soil column experiments show that sodium sulfate has little effect on soil pH at the experimental concentration. The content of SSC and sodium ions increase significantly with the increase of sodium sulfate concentration, and the content of SSC and sodium ions decrease significantly after washing with clear water, and the washing effect is obvious. The results of soil ESP and EC are lower than the critical value of sodium soil, and decrease significantly after washing with clear water. The above results show that the entry of sodium ions into the mountain will have a certain impact on the soil environment. After the mining is completed, clean water leaching can effectively reduce its impact on the soil environment.

Key words: ionic rare earth deposit; plant germination experiment; stress experiment; soil column experiment

(上接第 29 页)

Experimental Study on the Remediation of Soil Characteristics by Biochar in the Mining Ground Fissure Development Area in the Middle Reaches of the Yellow River

XUE Junhua¹, SONG Shijie², LI Quan¹, MA Haizhen¹, TIAN Yu², TAN Qingyu²

(1. Power China Northwest Engineering Corporation Limit, Xi'an 710065, China;

2. College of Geology and Environment, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: The restoration of soil characteristics around mining-induced ground fissures is an important content and key to realize ecological restoration and soil and water conservation in coal mining subsidence areas in the middle reaches of the Yellow River. Taking the soil in the mining-induced ground fissure development area of the coal base in northern Shaanxi as the research object, through field sampling, indoor soil culture test, comparative analysis and other methods, the remediation effect of adding exogenous biochar on the physical, chemical and microbial properties of the soil in the mining-induced ground fissure development area was studied and revealed. The results show that the addition of exogenous biochar could repair the physical, chemical and microbial properties of the soil around the mining ground fissures, and the improvement of soil microbial properties is the most significant, with the maximum improvement of 84% compared with that before repair. The addition of exogenous biochar has the most obvious repair effect on the physical, chemical and microbial properties of the soil at a horizontal distance of 20 cm on both sides of the mining ground fissure. The addition of 3% exogenous biochar is the best addition amount to repair and improve the physical, chemical and microbial properties of the soil in the mining-induced ground fissure development area.

Key words: biochar; soil characteristics; mining ground fissure; restoration