

不同种植植物对赤泥盐离子迁移与分布的影响

岳晶晶^{1,3}, 刘钟森^{2,3}, 程越迈¹, 赵雅^{1,3}, 王骥博^{2,3}

1. 河南省地质环境规划设计院有限公司, 河南 郑州 450000;
2. 河南省地质环境勘查院, 河南 郑州 450000;
3. 郑州市土壤污染防治利用工程技术研究中心, 河南 郑州 450000

中图分类号: X758 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2020)03-0046-05
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2020.03.007

摘要 为了研究不同植物种植条件下赤泥堆场土壤盐分组成变化, 采用田间试验方法研究了怪柳、碱蓬、茵草、竹子、小麦和黑麦草6种植物生长3年后的土壤表层(0~20 cm)盐分组成特征, 并以未种植植物的堆场赤泥为对照。结果表明, 种植碱蓬、小麦、茵草和竹子可以明显降低土壤交换性钠含量, 提高阳离子交换量(CEC), 土壤碱化度(ESP)下降了35.10%~66.65%; 种植植物条件下土壤阴离子含量依次是: 竹子<小麦<茵草<怪柳<碱蓬<黑麦草, 其中竹子移栽地土壤的 $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ 比值为0.99, 与对照相比, 处于稳定状态; 土壤中水溶态 Na^+ 占水溶态阳离子总量的比例和钠吸附比(SAR)均下降, 其中竹子移栽地降幅最大, 分别为23.95%和64.30%。研究结果发现, 种植植物可以改善赤泥土壤环境, 利于植物生长, 其中竹子改良效果最佳, 为植被重建过程中的土壤盐分调控提供科学依据。

关键词 赤泥; 种植植物; 盐分离子; 迁移与分布

赤泥是从铝土矿中提炼氧化铝后排出的工业固体废物, 具有产量大、碱度强、盐分高和植物难以生长的特点, 其处置方式主要以堆存为主, 还会造成周边土壤和水体污染^[1-2]。赤泥堆场土壤化-植被恢复成为赤泥生态化处理的有效措施, 但影响植物生长的最主要因素是高盐碱^[3]。

有研究表明, 轮作、秸秆还田和土地整理等措施能够降低盐渍化土壤盐分含量和土壤碱化度(ESP)^[4-6]。添加有机肥基质可以增加有机质, 提高通气性和透水性, 促进盐分淋洗, 分解后产生的有机酸中和土壤中的碱性, 在一定程度上改善土壤酸碱度^[7-8]。采用生物改良方法种植树木、抗盐性较强的牧草和植物等, 也可以疏松土壤, 改善土壤结构和理化性质, 提高土壤肥力^[9]。耐盐植物可以增加土壤中阴阳离子溶解度, 通过盐分吸收、运移对盐碱地表层土壤具有一定生物改良作用, 其中田菁对表层的脱盐效果最好^[10-12]。牧草干枯后腐烂分解的有机酸和 CO_2 又可以起到中和和改碱的作用。雷金银等^[13]研究表明, 种植怪柳的土壤表层0~20 cm的ESP降低了75.45%, 但尹传华等^[14]研究

表明, 种植怪柳会产生灌丛下土壤表层盐分的积累。

目前, 赤泥堆场研究主要集中在赤泥生态化处置、土壤化以及耐性植物筛选等方面, 但植物对赤泥盐分的生物改良效果对比分析研究较少。系统深入地研究不同植物种植条件下赤泥堆场土壤盐分组成变化, 选择适宜的植物, 对于赤泥改良和生态环境改善具有重要意义。因此, 本研究以河南某赤泥为研究对象, 通过添加有机肥等改良剂对赤泥基质进行改良后, 分析不同种植植物条件下ESP、阴离子和可溶性阳离子含量变化, 综合分析不同植物的改良效果, 为赤泥堆场植被复绿过程中的盐分调控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于河南某氧化铝公司赤泥堆场(35°24'23" N, 113°25'17" E)。气候为暖温带大陆性季风气候, 四季分明, 年平均气温14.5℃, 年平均降水量560.4 mm。表1为赤泥初始性状。

表1 赤泥的盐分离子组成

Table 1 Compositions of salt ions in bauxite residue

Component	pH	ESP /%	Exchangeable Na ⁺ / (cmol · kg ⁻¹)	CEC / (cmol · kg ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ / (g · kg ⁻¹)	HCO ₃ ⁻ / (g · kg ⁻¹)	Cl ⁻ / (g · kg ⁻¹)	Water-soluble cationic			
								Ca ²⁺ / (cmol · kg ⁻¹)	Mg ²⁺ / (cmol · kg ⁻¹)	Na ⁺ / (cmol · kg ⁻¹)	K ⁺ / (cmol · kg ⁻¹)
Bauxite residue	10.16	75.00	8.34	11.12	0.35	0.04	0.39	0.62	0.10	6.77	0.44

1.2 样品采集

背景赤泥样品采自未改良赤泥堆场附近,赤泥改良后样品采自改良后赤泥堆场。采样时间为2016年8月和2019年4月,取样深度为0~20 cm,分别将赤泥土壤与背景赤泥样品在试验室内自然风干,压碎混匀,研磨过筛,密封保存备用。

1.3 试验设计

试验区赤泥基质分配较均匀,各成分含量相差不大。对背景赤泥(BR)进行改良,以改良后未种植植物的赤泥(BR1)为对照,采用完全随机试验设计,分别种植柽柳、碱蓬、茵草、竹子、小麦和黑麦草6种植物,各种种植物的田间管理方式一致,主要为灌水,保证植物生长所需水分。

2016年8月份对赤泥基质进行改良,添加青贮玉米秸秆、小麦秸秆、有机肥等改良剂,平衡一个月后,种植柽柳、碱蓬、茵草、竹子、小麦和黑麦草,其中柽柳、茵草和竹子采用人工移栽,碱蓬、小麦和黑麦草采用人工撒播,连续种植3年。柽柳、竹子、茵草移栽地的枯枝落叶返还土壤,小麦、碱蓬、黑麦草连作地翻耕去除原有干枯植被后撒播。

1.4 样品分析

样品的pH值用酸度计测定(土液比为1:2.5)^[15],交换性钠采用乙酸铵交换-火焰光度法测定^[16],阳离子交换量(CEC)采用乙酸铵交换法^[17],硫酸根采用硫酸钡比浊法,碳酸根和重碳酸根采用双指示剂-中和滴定法,氯离子采用硝酸银滴定法^[18]。水溶性钾离子、钠离子、钙离子和镁离子以水土比5:1充分混匀,震荡3 min后进行过滤,利用原子吸收分光光度法测定^[18]。

2 结果与分析

2.1 不同种植植物改良赤泥交换性钠变化

土壤交换性钠指土壤吸收复合体吸附Na⁺的量,是土壤碱化的主要原因之一。由图1可知,不同种植植物条件下改良赤泥的交换性钠含量存在差异。BR1处理中的交换性钠平均值为8.16 cmol/kg,种植黑麦草和柽柳的赤泥交换性钠含量较高,分别为12.79 cmol/kg和8.85 cmol/kg,其原因可能是植物根系分布

及根分泌的有机酸等活化黏土矿物中的钠,从而使黏土矿物晶格中的钠释放并转化为交换态钠^[19],种植竹子、茵草、小麦和碱蓬的赤泥交换性钠含量较BR1分别下降了56.50%、24.88%、13.73%和0.74%,其原因可能是种植植物后进行了土壤翻耕,降低了土壤容重,增加了孔隙度,增强了土壤的淋溶作用,便于钠离子淋洗^[20]。

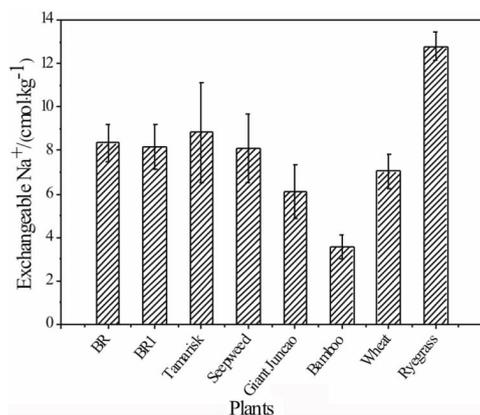


图1 不同种植植物赤泥交换性钠含量

Fig. 1 Changes of exchangeable sodium content in bauxite residue of different planting plants

2.2 不同种植植物改良赤泥 CEC 变化

土壤CEC是指土壤胶体所能吸附各种阳离子的总量,是评价土壤保肥能力的重要依据,一般认为CEC在20 cmol/kg以上的为保肥力强的土壤,10~20 cmol/kg为保肥力中等的土壤。由图2可知,BR1处理中的CEC平均值为13.33 cmol/kg,不同种植植物条件下改

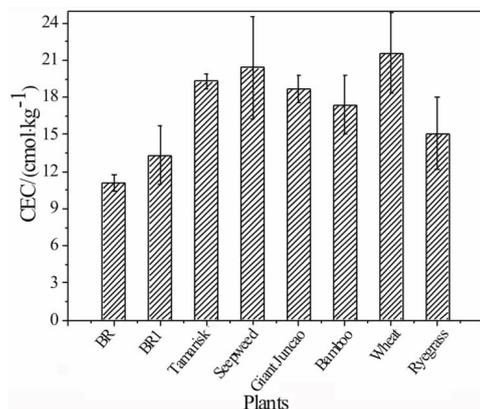


图2 不同种植植物赤泥 CEC

Fig. 2 Changes of CEC in bauxite residue of different planting plants

良赤泥的 CEC 与 BR1 相比,均呈现不同程度的增加趋势。总体上看,种植小麦和碱蓬的改良赤泥的 CEC 的增效最佳,较 BR1 分别增加了 62.04% 和 53.04%,土壤保肥能力较强,怪柳、菌草和竹子次之,分别增加了 44.79%、40.29% 和 30.53%,土壤保肥能力处于中等水平。

2.3 不同种植植物改良赤泥 ESP 变化

ESP 为交换性钠与 CEC 的比值,可以表征土壤碱化程度,ESP 在 15% ~ 20% 以上为强碱化土壤。不同种植植物对赤泥碱化程度改良效果情况见图 3。BR1 处理的 ESP 为 61.18%,种植竹子对赤泥碱化程度改良效果最好,其 ESP 为 20.40%,较 BR1 下降了 66.65%,其次为种植小麦和菌草的改良效果,其 ESP 分别为 32.78% 和 32.59%,较 BR1 分别下降了 46.73% 和 46.42%,碱蓬和怪柳对赤泥碱化程度改良效果最低,其 ESP 分别下降了 35.10% 和 25.09%。ESP 下降的原因一方面是种植植物可以改善土壤结构,增强土壤的淋溶作用,便于钠离子淋洗,另一方面是可能是添加土壤改良剂带入的 K^+ 和 Mg^{2+} ,提高了 CEC,从而降低了 Na^+ 的比例^[21]。

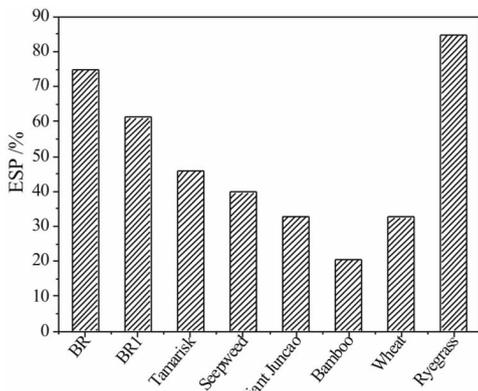


图 3 不同种植植物赤泥 ESP

Fig. 3 Changes of ESP in bauxite residue of different planting plants

2.4 种植植物改良赤泥阴离子组成变化

不同种植植物条件下改良赤泥的阴离子变化如表 2 所示。改良赤泥中主要阴离子有 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 和 CO_3^{2-} ,改良后其含量依次为:竹子 < 小麦 < 菌草 < 怪柳 < 碱蓬 < 黑麦草。BR1 处理中 SO_4^{2-} 占阴离子总量的 50.52%,种植怪柳、碱蓬、菌草和竹子等植物的改良赤泥中 SO_4^{2-} 占阴离子总量的比例下降,种植碱蓬 SO_4^{2-} 占阴离子总量最低,为 12.66%, Cl^- 变化趋势与 SO_4^{2-} 正好相反,其在赤泥中占阴离子总量的比例从 44.74% 增加到 84.05%, HCO_3^- 在赤泥中占阴离子总量的 4.53%,不同种植植物的改良赤泥中 HCO_3^- 变化不明显, CO_3^{2-} 含量较低,在 BR1 处理和不同种植植物

条件下改良赤泥中均未检测到。

表 2 不同种植植物赤泥的阴离子组成

Table 2 Anion composition in bauxite residue of different planting plants

Treatment	SO_4^{2-} /(g · kg ⁻¹)	CO_3^{2-} /(g · kg ⁻¹)	HCO_3^- /(g · kg ⁻¹)	Cl^- /(g · kg ⁻¹)
BR	0.35	0	0.04	0.39
BR1	0.32	0	0.03	0.29
Tamarisk	0.27	0	0.03	0.40
Seepweed	0.10	0	0.03	0.66
Giant Juncao	0.18	0	0.03	0.44
Bamboo	0.21	0	0.02	0.21
Wheat	0.22	0	0.03	0.31
Ryegrass	0.32	0	0.03	0.50

2.5 Cl^-/SO_4^{2-} 比值的变化

赤泥盐分离子中阴离子含量以 Cl^- 和 SO_4^{2-} 为主,因此 Cl^-/SO_4^{2-} 比值的变化反映了土壤中阴离子组成的变化(图 4)。同时 Cl^- 容易随水分移动,而 SO_4^{2-} 不易随水移动,二者的比值可以作为盐分的淋洗状况的指标^[22]。由图 4 可以看出,不同种植植物土层的 Cl^-/SO_4^{2-} 比值均高于 BR1 处理(0.89),其中竹子移栽地

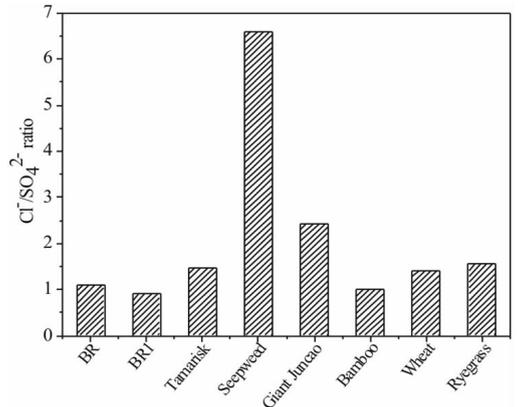


图 4 不同种植植物赤泥 Cl^-/SO_4^{2-} 比值

Fig. 4 Cl^-/SO_4^{2-} ratio in bauxite residue of different planting plants

的 Cl^-/SO_4^{2-} 比值为 0.99,与 BR1 相比,变化不大,处于稳定状态;怪柳和菌草移栽地的 Cl^-/SO_4^{2-} 比值较 BR1 分别提高了 62.80% 和 168.62%,碱蓬、小麦和黑麦草连作地的 Cl^-/SO_4^{2-} 比值较 BR1 分别提高了 625.27%、54.85% 和 71.70%,具有积盐趋势,其原因一方面是春季气温上升,降水量少,地表裸露,土壤“返盐”现象增加,另一方面是盐生植物本身含有灰分,枯枝落叶返还土壤,又将盐分带回地表。

2.6 不同种植植物改良赤泥水溶态阳离子组成变化

赤泥水溶性盐中的阳离子包括 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 K^+ 、

Mg^{2+} ,由表 3 可知,不同种植植物条件下改良赤泥中的水溶态阳离子含量存在差异。 Na^+ 是赤泥中主要的水溶态阳离子,其次是 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Mg^{2+} 。BR1 处理中的水溶态 Na^+ 是含量为 5.96 cmol/kg,占赤泥中水溶态阳离子的 81.42%,种植怪柳、碱蓬、茵草和竹子等植物的改良赤泥中水溶态 Na^+ 占水溶态阳离子总量的比例下降,其中种植竹子水溶态 Na^+ 占水溶态阳离子总量最低,为 61.92%,不同种植植物的改良赤泥中水溶态 Mg^{2+} 和水溶态 Ca^{2+} (除碱蓬外)变化趋势与水溶态 Na^+ 正好相反,其占赤泥中水溶态阳离子总量比例分别增加至 3.97%~8.38% 和 15.75%~22.33%,不同种植植物的改良赤泥中水溶态 K^+ 变化趋势不明显。

表 3 不同种植植物赤泥水溶态阳离子含量

Table 3 Water-soluble cation content in bauxite residue of different planting plants

Treatment	Ca^{2+} /(cmol·kg ⁻¹)	Mg^{2+} /(cmol·kg ⁻¹)	Na^+ /(cmol·kg ⁻¹)	K^+ /(cmol·kg ⁻¹)
BR	0.62	0.10	6.77	0.44
BR1	0.77	0.12	5.96	0.46
Tamarisk	1.81	0.51	7.01	0.52
Seepweed	0.73	0.58	6.51	0.97
Giant Juncao	1.19	0.54	5.06	0.78
Bamboo	0.91	0.34	2.52	0.30
Wheat	1.77	0.43	5.96	0.34
Ryegrass	2.12	0.53	10.12	0.52

2.7 钠吸附比(SAR)变化

SAR 是钠离子浓度与钙离子浓度、镁离子浓度均值的平方根之比,主要用以表示钠离子和土壤交换反应的相对活度,是反映盐碱地碱度和利用与改良过程中土壤质量变化的重要指标^[22]。如图 5 所示,基于水土比 5:1 的提取液的 BR1 处理 SAR 为 8.93,不同种植植物条件下改良赤泥的 SAR 与 BR1 相比,均呈现不同程度的递减趋势;其中竹子移栽地的 SAR 降幅最大,为 64.30%;其次是茵草、小麦和怪柳,分别下降了

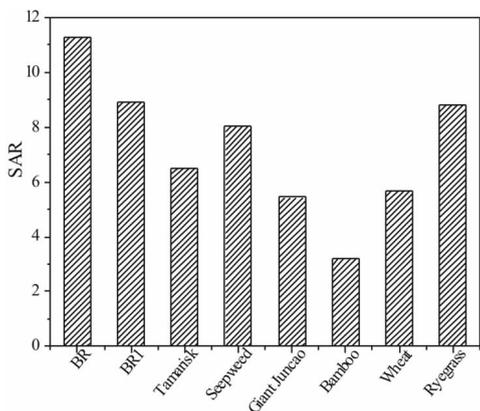


图 5 不同种植植物赤泥 SAR

Fig. 5 SAR in bauxite residue of different planting plants

39.08%、36.36% 和 27.12%;碱蓬和黑麦草的降幅仅有 9.92% 和 1.55%。说明种植怪柳、碱蓬、茵草、竹子、小麦和黑麦草可以在一定程度上降低土壤 SAR,降低土壤碱度,其原因可能是表层土壤中 Na^+ 含量降低, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量增加,从而导致土壤中可溶性钠离子的比例下降。

3 结论

(1) 种植碱蓬、小麦、茵草和竹子可以降低土壤交换性钠含量,提高 CEC,增强土壤保肥能力,降低赤泥 ESP,抑制土壤返盐,缓解土壤的盐化程度。

(2) 改良赤泥中主要阴离子有 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 和 CO_3^{2-} ,阴离子含量依次为:竹子 < 小麦 < 茵草 < 怪柳 < 碱蓬 < 黑麦草。竹子移栽地土壤的 Cl^-/SO_4^{2-} 比值与 BR1 处理相比变化不大,处于稳定状态。

(3) 种植怪柳、碱蓬、茵草、小麦、黑麦草和竹子等植物均降低了土壤中水溶态 Na^+ 占水溶态阳离子总量的比例和 SAR,降低了土壤碱度。

(4) 怪柳对 CO_3^{2-} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 具有明显的富集效应,产生显著的盐岛效应,增强了土壤表层的积盐速率,可能会导致较高水平的盐分累积和土壤退化。本研究基于 3 年试验结果之上,所得结论存在一定的局限性,还需进一步研究和验证。

参考文献:

- [1] 薛生国,李玉冰,郭颖.氧化铝工业赤泥环境影响研究进展[J].中国科学院大学学报,2017,34(4):401-412.
- [2] 郭颖,李玉冰,薛生国,等.广西某赤泥堆场周边土壤重金属污染风险[J].环境科学,2018,39(7):3349-3357.
- [3] 黄玲,李义伟,薛生国,等.氧化铝赤泥堆场盐分组成变化[J].中国有色金属学报,2016,26(11):2433-2439.
- [4] Wang Q J, Lu C Y, Li H W, et al. The effects of no-tillage with subsoiling on soil properties and maize yield: 12-year experiment on alkaline soils of Northeast China[J]. Soil and Tillage Reserach, 2014, 137: 43-49.
- [5] 高彦花,张华新,杨秀艳,等.耐盐碱植物对滨海盐碱地的改良效果[J].东北林业大学学报,2011,39(8):45-48.
- [6] 王军,顿耀龙,郭义强,等.松嫩平原西部土地整理对盐渍化土壤的改良效果[J].农业工程学报,2014,30(18):266-275.
- [7] 谷思玉,聂艳龙,何鑫,等.生物有机肥对盐渍土改良效果评价[J].东北农业大学学报,2015,46(8):43-48.
- [8] Xu H, Huang X J, Zhong T Y, et al. Chinese land policies and farmers' adoption of organic fertilizer for saline soils[J]. Land Use Policy, 2014, 38: 541-549.
- [9] 曾玉彬.种植不同耐盐植物对盐渍化土壤理化和生物学性质的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2015.
- [10] 肖克飏,吴普特,雷金银,等.不同类型耐盐植物对盐碱土生物改良研究[J].农业环境科学学报,2012,31(12):130-137.
- [11] 王立艳,潘洁,肖辉,等.种植耐盐植物对滨海盐碱地土壤盐分的影响[J].华北农学报,2014,29(5):229-234.
- [12] 侯贺贺,王春堂,王晓迪,等.黄河三角洲盐碱地生物措施改良效果研究[J].中国农村水利水电,2014(7):1-6.
- [13] 雷金银,班乃荣,张永宏,等.怪柳对盐碱土养分与盐分的影响及其

- 区化特征[J]. 水土保持通报, 2011, 31(2): 77-80.
- [14] 尹传华, 董积忠, 石秋梅, 等. 不同生境下盐生灌木盐岛效应的变化及生态学意义[J]. 土壤学报, 2012, 49(2): 87-93.
- [15] 全国农业技术推广服务中心, 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 上海市农业技术推广服务中心, 等. 土壤检测第 2 部分: 土壤 pH 的测定: NY/T 1121. 2—2006[S]. 北京: 中华人民共和国农业部, 2006.
- [16] 中国林业科学研究院林业研究所森林土壤研究室. 森林土壤交换性钾和钠的测定: LY/T 1246—1999[S]. 北京: 中国林业科学研究院林业研究所, 1999.
- [17] 中国林业科学研究院林业研究所森林土壤研究室. 森林土壤阳离子交换量的测定: LY/T 1243—1999[S]. 北京: 中国林业科学研究院林业研究所, 1999.
- [18] 北京农业大学土壤及植物营养系. 森林土壤水溶性盐分分析: LY/T 1251—1999[S]. 北京: 中国林业科学研究院林业研究所, 1999.
- [19] 张玉革, 梁文举, 姜勇, 等. 不同利用方式对潮棕壤交换性钾钠及盐基总量的影响[J]. 土壤通报, 2008, 39(4): 816-821.
- [20] 陈萍, 何文寿. 不同盐化土壤理化性质差异研究[J]. 农业科学研究, 2016, 37(3): 42-45.
- [21] 岳燕. 耐盐植物生物炭特性及对盐渍化土壤改良培肥的作用与机理[D]. 北京: 中国农业大学, 2017.
- [22] 谭军利, 康跃虎, 焦艳平, 等. 不同种植年限覆膜滴灌盐碱地土壤盐分离子分布特征[J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 67-71.

Effects of Different Planting Plants of Soil Salt Ions Migration and Distribution in Bauxite Residue

YUE Jingjing^{1,3}, LIU Zhongsen^{2,3}, CHENG Yuemai¹, ZHAO Ya^{1,3}, WANG Jibo^{2,3}

1. Henan Provincial Geological Environment Planning & Designing Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China;

2. Henan Institute of Geo-Environment Exploration, Zhengzhou 450000, China;

3. Soil Pollution Prevention Engineering Technology Research Center of Zhengzhou, Zhengzhou 450000, China

Abstract: In order to study the effect of different planting conditions on changes of soil salinity in the bauxite residue disposal area, a field experiment was conducted to study the salt composition of the soil surface layer (0-20 cm) after 3 years of plant growth, such as Tamarisk, Seepweed, Giant Juncao, Bamboo, Wheat and Ryegrass, and the bauxite residue of unplanted plants was took as a control. The results showed that the planting of Seepweed, Wheat, Giant Juncao and bamboo could significantly reduce soil exchangeable sodium content, increase cation exchange capacity (CEC), and reduce exchangeable sodium percentage (ESP) by 35.10% - 66.65%. The soil anion content in the planting conditions was: Bamboo < Wheat < Giant Juncao < Tamarisk < Seepweed < Ryegrass, in which the soil Cl^-/SO_4^{2-} ratio of bamboo transplanted soil was 0.99, compared with the control, in a stable state. The ratio of water-soluble Na^+ in the soil to the total amount of water-soluble cations and the sodium adsorption ratio (SAR) decreased, among which bamboo transplanted plants had the largest declines, which were 23.95% and 64.3%, respectively. The results showed that planting plants could improve the bauxite residue soil environment and facilitate plant growth, among them, bamboo had the best improvement effect. This provided scientific basis for soil salt regulation during vegetation reconstruction.

Key words: bauxite residue; planting plants; salt ions; migration and distribution

引用格式: 岳晶晶, 刘钟森, 程越迈, 赵雅, 王骥博. 不同种植植物对赤泥盐离子迁移与分布的影响[J]. 矿产保护与利用, 2020, 40(3): 46-50.

Yue JJ, Liu ZS, Cheng YM, Zhao Y and Wang JB. Effects of different planting plants of soil salt ions migration and distribution in bauxite residue[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2020, 40(3): 46-50.