

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201708023

引文格式: 廖建雄, 黄玉清, 徐广平, 等. 赤泥掺拌马尾松叶对芦竹与翠芦莉生长的影响 [J]. 广西植物, 2018, 38(6): 704–709  
LIAO JX, HUANG YQ, XU GP, et al. Effects of red mud mixed with pine needles on growth of *Arundo donax* and *Ruellia brittoniana* [J].  
*Guihaia*, 2018, 38(6): 704–709

## 赤泥掺拌马尾松叶对芦竹与翠芦莉生长的影响

廖建雄\*, 黄玉清, 徐广平, 何文, 李艳琼, 何成新

(广西喀斯特植物保育与恢复生态学重点实验室, 广西壮族自治区广西植物研究所, 广西 桂林 541006)  
中国科学院

**摘要:** 赤泥是铝土矿提炼氧化铝后排放的强碱性废渣, 数量巨大且环境风险大, 如何改良及筛选适生植物是其生态修复的关键。该研究通过掺拌不同比例的马尾松叶 2%, 4%, 6% (w/w), 分析其对赤泥 pH 与有机质含量及芦竹与翠芦莉生长的影响。结果表明: 掺拌马尾松叶 35 d 后, 赤泥 pH 由 11.08 显著下降至 9.70, 但随后趋于平稳; 随着掺拌比例的增加, 赤泥 pH 呈下降趋势, 有机质含量由  $6.13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  显著增至  $17.52 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。芦竹与翠芦莉在纯赤泥上生长 2 个多月后死亡, 但在掺拌 4% 马尾松叶的赤泥上均能较好地生长。其中, 芦竹的生物量及相对生长速率 (RGR) 与栽培土相比不受影响, 但地下/地上生物量比 (B/A) 显著增加; 相反, 翠芦莉的生物量和相对生长速率与栽培土相比显著降低, 但 B/A 不受影响。

**关键词:** 赤泥, 改良, 马尾松叶, 芦竹, 翠芦莉, 生长

中图分类号: Q948.116 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2018)06-0704-06

## Effects of red mud mixed with pine needles on growth of *Arundo donax* and *Ruellia brittoniana*

LIAO Jianxiong\*, HUANG Yuqing, XU Guangping,  
HE Wen, LI Yanqiong, HE Chengxin

(Guangxi Key Laboratory of Plant Conservation and Restoration Ecology in Karst Terrain, Guangxi Institute of Botany,  
Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, Guangxi, China)

**Abstract:** Red mud is a waste residue with strong alkalinity after extracting alumina from bauxite. Due to its huge production and high environmental risks, how to remedy it and how to choose suitable plant species are key for ecological restoration. In this study, we mixed different proportions of pine needles 2%, 4% and 6% (w/w), with the objective to study the changes of pH and organic matter content of red mud, and their effects on growth of *Arundo donax* and *Ruellia brittoniana*, two alkali-tolerant species. The results indicated pH of red mud reduced significantly from 11.08 to 9.70 after 35 d mixture with pine needles, and then leveled off. When the proportions of pine needles increased, pH of red mud

收稿日期: 2017-08-16

基金项目: 国家自然科学基金地区科学基金(31560089); 广西科技计划项目重点研发计划项目(桂科 AB16380250); 广西植物研究所基本科研业务费项目(桂植业 15001); 广西科学研究与技术开发计划项目主席科技资金项目(1324105) [Supported by the National Natural Science Foundation of China (31560089); Key Science and Technology Program of Guangxi (AB16380250); the Fundamental Research Fund for Guangxi Institute of Botany (15001); Foundation of Chairman of Guangxi (1324105)].

作者简介: 廖建雄(1973-), 男, 湖南湘阴人, 博士, 副研究员, 主要从事环境生态学研究, (E-mail) liaojianx@163.com。

\*通信作者

decreased and organic matter content significantly increased from 6.13 to 17.52 g · kg<sup>-1</sup>. When grown in pure red mud, *Arundo donax* and *Ruellia brittoniana* died after more than two months. However, they could grow well at amended red mud (mixed with about 4% pine needles). Compared with limestone soil, *Arundo donax* had similar biomass and relative growth rate (RGR) but significantly higher below-/above-ground biomass (B/A) in amended red mud, while *Ruellia brittoniana* showed significantly lower biomass and RGR but similar B/A.

**Key words:** red mud, amendment, pine needles, *Arundo donax*, *Ruellia brittoniana*, growth

赤泥是铝土矿提炼氧化铝后排放的红色废渣,数量巨大且呈强碱性。由于资源化利用难度非常大,赤泥主要采取露天堆存的处置方式。这不但占用了大量土地,而且易通过粉尘飘散或附液下渗污染周边生态环境,甚至因为溃坝造成巨大的生态灾难(Gelencsér et al, 2011; Ruyters et al, 2011; Mayes et al, 2016)。因此,在积极寻求赤泥综合利用途径的同时,探索有效的生态修复方法与技术已迫在眉睫。

筛选适生植物进行植被重建是当今国际生态修复研究的热点和前沿。然而,赤泥堆场盐碱含量极高(pH 10~12)、有机质含量低、透水透气性差等,植物难以生长(Jones & Haynes, 2011; Banning et al, 2014)。因此,寻求简单有效的基质改良方法并筛选适生植物进行种植,是赤泥堆场生态修复的第一步。澳大利亚 Alcan Gove 铝业公司利用临近的海水中和赤泥后,再采用覆土的方式栽植耐碱植物,构建的植被已持续维持了 20 多年(Wehr et al, 2006)。Xenidis et al(2005)通过添加 5%(w/w)的污泥或 7%~15%(w/w)的石膏,发现赤泥 pH 下降、有机质含量增加,而且植物能较好地生长。另外,掺拌酸性废液(如糖蜜酒精废液)(郑业鹏等, 2012)或废渣(如磷石膏)(张乐观等, 2010)也能显著降低赤泥碱性且增加有机质含量。然而,海水法流程复杂且需要海水这样的先决条件,其它方法需要很大比例的添加物(Wehr et al, 2006; 姜丁丁和罗海波, 2010; Jones & Haynes, 2011),或者易导致赤泥重金属超标或表层可溶盐碱增加等负效应(张乐观等, 2010; 郑业鹏等, 2012)。故此,寻求新的改良方法及生态修复技术仍需不断探索。

Reich et al(2005)发现,裸子植物凋落物一般交换性盐基离子少,因此连续栽种易导致土壤酸化。Brunner & Sperisen(2013)也认为针叶树凋落

物含较多的蜡质、树脂和木质素,它们不完全分解时易产生比阔叶树凋落物更酸的腐殖质。受这些研究的启发,本研究以马尾松叶为赤泥脱碱和改良的材料,分析其对赤泥 pH 及有机质含量的影响。在此基础上,比较潜在适生植物芦竹与翠芦莉在纯赤泥、改良赤泥及栽培土上的生长情况,旨在为赤泥堆场的生态修复提供依据与参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

赤泥采自中国铝业股份有限公司广西分公司的赤泥堆场, pH 值为 11~12, 有机质含量 5~7 g · kg<sup>-1</sup>。栽培土为黑色石灰土, 采自广西桂林市雁山, pH 值为 8.0, 有机质含量 15.3 g · kg<sup>-1</sup>。马尾松(*Pinus massoniana*)叶为当年落叶, 采集于广西植物研究所内的马尾松林, 晒干待用。

芦竹(*Arundo donax*)为禾本科芦竹属多年生草本植物, 根状茎发达、生长快、生物量大, 植株可长至 6 m 或更高, 是一种集燃料、发电、造纸等多种用途的潜在能源植物。而且, 芦竹适应性强, 耐涝、耐旱、耐贫瘠、耐盐碱、耐重金属及有机污染物, 可作为生态修复的首选植物。

翠芦莉(*Ruellia brittoniana*), 又称蓝花草, 爵床科芦莉草属多年生草本植物, 花期持久, 耐高温能力强, 是夏季花坛不可多得的花材。另外, 它还耐旱、耐湿、耐贫瘠、耐盐碱, 因此用于景观美化的同时可用于生态修复。

### 1.2 方法

在广西植物研究所的遮雨大棚中, 将马尾松叶与赤泥按 0%、2%、4%、6%(w/w)混匀后置于 24 cm × 24 cm(口径×高)塑料花盆中。装盆前, 先在盆底排水孔处垫上一层尼龙纱布, 然后加混

合物 5.0 kg。每个比例重复 3 次,常规浇水。在此期间,每隔 1 周取赤泥测量 pH 值。49 d 后,测量有机质含量。其中,pH 采用电位法(NY/T 1377-2007)测量,有机质含量采用重铬酸钾-硫酸加热法(NY/T 1121.6-2006)测量。

将上述 2%、4%、6%的改良赤泥混匀后置于 24 cm × 24 cm (口径×高)塑料花盆中,然后将大小相似的芦竹苗与翠芦莉苗栽入,每盆改良赤泥 5.0 kg,植物 1 株,每物种重复 3 次。另外,以纯赤泥与栽培土为对照,按同样的方法栽入芦竹与翠芦莉,常规浇水。芦竹与翠芦莉移栽前,先测量它们的初始鲜重,然后根据备用植株的干鲜比估算初始干重( $DW_0$ )。4 个月后,将所有存活的植株从花盆中取出,洗净后分为地上与地下部分(包括根状茎)。装入信封后,先用 105 °C 固定杀青 20 min,然后 80 °C 烘至少 24 h。称重得地上生物量、地下生物量、地下/地上生物量比(B/A)以及总生物量(DW)。相对生长速率(RGR,  $mg \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$ )按以下公式计算:

$$RGR = (\ln DW - \ln DW_0) / 120 \times 1000.$$

### 1.3 统计方法

所有数据处理与分析均利用 SPSS 20.0 软件(SPSS Inc., Chicago, USA)完成。掺拌马尾松叶比例及掺拌时间对赤泥 pH 影响采用双因素方差分析(two-way ANOVA),掺拌比例对有机质含量影响采用单因素方差分析(one-way ANOVA),它们随后的多重比较用 LSD 法进行检验。因为植株收获时生物量、RGR 与初始生物量有关,B/A 与收获时总生物量有关(Valladares et al, 2000)。因此,尽管植株的初始大小类似,但为了抵消个体大小效应的影响,分析同一物种不同处理间的差异时仍采用单因素协方差分析(one-way ANCOVA),其中生物量与 RGR 以初始干重( $DW_0$ )为协变量,B/A 以收获时总生物量(DW)为协变量。

## 2 结果与分析

### 2.1 掺拌马尾松叶对赤泥 pH 及有机质的影响

马尾松叶掺拌比例及掺拌时间对赤泥 pH 均有显著影响(图 1),但它们的交互作用不显著(数

据未列出)。与对照(0%掺拌比例)相比,各掺拌比例均显著降低了赤泥 pH,并随掺拌比例的增加效果越显著(图 1:A)。随着掺拌时间的延长,赤泥 pH 先显著下降,至第 5 周(35 d)时,赤泥 pH 由 11.08 降至 9.70,但随后趋于平稳(图 1:B)。

随着马尾松叶掺拌比例的增加,赤泥有机质含量显著上升(图 2)。其中,纯赤泥(0%掺拌比例)的有机质含量仅为  $6.13 g \cdot kg^{-1}$ ,但掺拌 6%马尾松叶后,有机质含量上升至  $17.52 g \cdot kg^{-1}$ ,已超过了本研究栽培土的有机质含量。

### 2.2 改良赤泥对芦竹与翠芦莉生长的影响

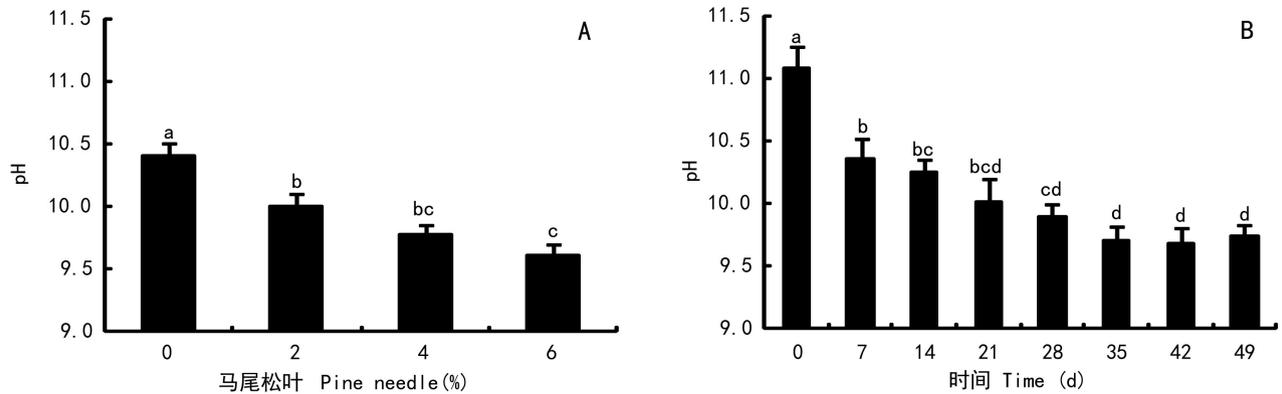
直接在纯赤泥上栽植芦竹与翠芦莉后,两个物种均能存活 2 个月以上的时间,但最后相继死亡。在改良赤泥上,两物种至实验结束时均存活。但与栽培土相比,改良赤泥上芦竹的叶明显变小;而翠芦莉出现茎弯曲、叶背叶脉紫红色并有老叶脱落、叶缘有白色分泌物等症状。

分析改良赤泥与栽培土植株的生物量与地下/地上生量比(B/A),发现两种植物有不同的表现。与栽培土相比,芦竹的 B/A 显著增加,但生物量无显著下降(图 3:A);翠芦莉保持 B/A 不变,但地上地下生物量均显著下降(图 3:B)。

比较改良赤泥与栽培土植株的相对生长速率,芦竹的相对生长速率没有显著变化(图 4:A),而翠芦莉的相对生长速率显著降低(图 4:B)。

## 3 讨论与结论

盐碱含量高、有机质含量低是赤泥限制植物生长的重要因子(Wehr et al, 2006; Xue et al, 2016)。因此,寻求简单的基质改良方法及筛选适生植物是大面积赤泥堆场生态修复的关键。与阔叶树相比,由于针叶树落叶含更多的蜡质和木质素,它们分解时易产生更酸的腐殖质(Brunner & Sperisen, 2013),所以采用掺拌针叶的方法也许能中和赤泥部分碱性。本研究结果表明,掺拌马尾松叶 35 d 后,赤泥 pH 下降了约 1.4 个单位,但随后趋于平稳。薛生国等(2017)认为赤泥恶劣环境下微生物难以生存。因此,以上结果可能与赤泥的强碱及缺少微生物有关。当马尾松叶掺拌入赤

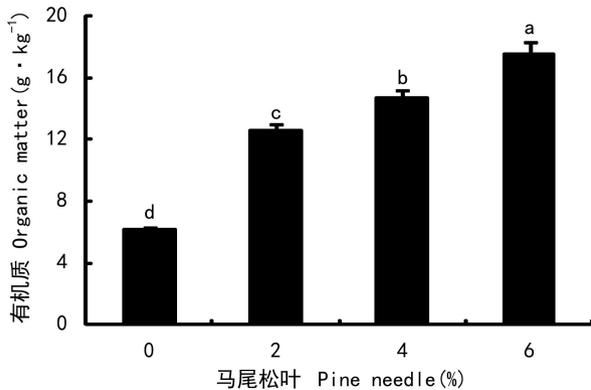


注：A. 掺拌比例，数据为 7 次取样的平均值  $\pm$  标准误；B. 掺拌时间，数据为 4 个比例的平均值  $\pm$  标准误。同一小图中不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Note: A. Mixed proportion, values are  $\bar{x} \pm s_x$  of seven sample times; B. Mixed time, values are  $\bar{x} \pm s_x$  of four proportions. Different small letters in each panel indicate significant differences ( $P < 0.05$ ).

图 1 马尾松叶掺拌比例及掺拌时间对赤泥 pH 的影响

Fig. 1 Effects of mixed proportion and treatment time of pine needles on pH of red mud



注：数据为 3 个重复的平均值  $\pm$  标准误。不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Note: Values are  $\bar{x} \pm s_x$  of three replicates. Different small letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ).

图 2 掺拌马尾松叶对赤泥有机质含量的影响

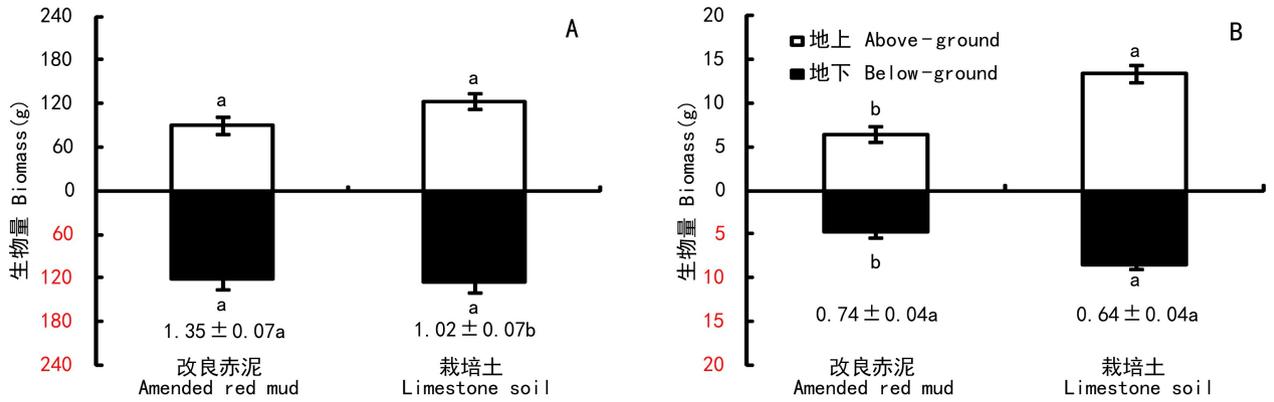
Fig. 2 Effects of mixed pine needles on organic matter content of red mud

泥后，赤泥的强碱迅速对松叶产生腐蚀作用（水解反应与酸碱反应），赤泥 pH 随之下降并随掺拌比例的增加下降幅度增加；但随着化学反应的完成，由于缺少微生物的分解作用，余下的有机成分（氨基酸和脂肪酸的钠盐）对赤泥 pH 基本没有影响。甚至随着某些化学结合碱（如铝酸三钙）的溶解，

赤泥 pH 又出现了升高现象（薛生国等，2017）。同样，掺拌的马尾松叶与赤泥强碱发生化学反应后，余下的有机成分显著增加了赤泥的有机质含量，并且随着掺拌比例的增加而增加。

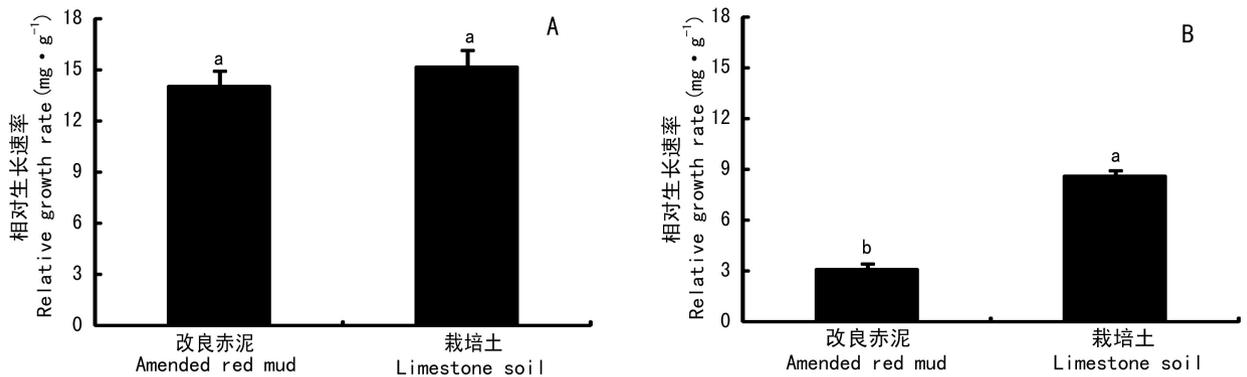
尽管掺拌马尾松后赤泥 pH ( $> 9.0$ ) 仍高于一般植物的忍受范围（Mendez & Maier, 2007），但芦竹与翠芦莉均能较好地生长。与此相反，纯赤泥上栽植的芦竹与翠芦莉全部死亡。说明马尾松叶通过降碱及增加有机质含量促进了耐碱植物芦竹与翠芦莉在赤泥上的生长。另外，马尾松的针叶无需破碎就能与赤泥充分接触，使赤泥疏松度及透气能力增强也可能是原因之一。碱性尾矿一般缺磷或磷有效性低（Ward & Summers, 1993; Cross & Lambers, 2017），而植物缺磷易导致叶背叶脉变紫红并落叶（武维华，2008）。因此，本研究中翠芦莉生长在改良赤泥上叶背叶脉呈紫红色并出现老叶脱落可能与缺磷有关。

Cross & Lambers (2017) 认为，碱性尾矿与发育早期的石灰土类似，因此早期石灰土的年代序列可作为碱性尾矿生态恢复的模板。本研究正好选用发育初始期的黑色石灰土作为对照（栽培土），与之相比，改良赤泥显著增加了芦竹 B/A，但对其生物量及相对生长速率无显著影响。大多数研究



注：数据为3个重复的平均值±标准误，其中柱下数据代表B/A。同一小图不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )，下同。  
Note: Values are  $\bar{x} \pm s_z$  of three replicates, and the data below each bar represents B/A. Different small letters in each panel indicate significant differences ( $P<0.05$ ), the same below.

图3 赤泥掺拌马尾松叶对芦竹(A)与翠芦莉(B)地下、地上生物量及其比值(B/A)的影响  
Fig. 3 Effects of red mud mixed with pine needles on below- and above-ground biomass and their ratio (B/A) of *Arundo donax* (A) and *Ruellia brittoniana* (B)



注：数据为3个重复的平均值±标准误。  
Note: Values are  $\bar{x} \pm s_z$  of three replicates.

图4 赤泥掺拌马尾松叶对芦竹(A)与翠芦莉(B)相对生长速率的影响

Fig. 4 Effects of red mud mixed with pine needles on relative growth rate of *Arundo donax* (A) and *Ruellia brittoniana* (B)

者认为,盐碱胁迫易造成植物生理干旱(Parida & Das, 2005; Zhang et al, 2015; Qiu et al, 2017)。因此,芦竹增加 B/A 可能是对生理干旱的响应与适应,其结果是维持相对生长速率不受影响。Sánchez et al(2015)也发现,盐胁迫与干旱胁迫均显著增加了芦竹的根冠比,但芦竹的耐盐性强于耐旱性。与芦竹相反,改良赤泥上翠芦莉的生物量及相对生长速率显著低于栽培土,但 B/A 无显著差异。刘志华和赵可夫(2005)认为大多数植物对高盐碱环境的适应,如合成有机酸或渗透调节

物质,消耗了大量能量,进而减缓了生长。本研究中翠芦莉可能就基于此,而芦竹可能反其道而行之。改良赤泥上,芦竹的相对生长速率不但没有受到显著影响,而且具有相对较高的数值,显著高于翠芦莉,可能使其采用了类似于滨藜(*Atriplex amnicola*)的生长稀释策略(Aslam et al, 1986),即通过快速生长稀释细胞中的盐碱,最终达到适应高盐碱环境的目的。翠芦莉除了减缓生长外,其叶缘出现白色分泌物的症状也表明其具有分泌盐碱的适应策略。

综上所述,赤泥掺拌马尾松叶后能显著降低pH、增加有机质含量,而且有利于芦竹与翠芦莉在赤泥上的生长。这不但说明掺拌马尾松叶是一种简单且可行的赤泥改良措施,而且表明芦竹与翠芦莉具有很强的耐碱性,可应用于赤泥堆场的生态修复。但是,两个物种在改良赤泥上生长时采取了不同的适应策略。

## 参考文献:

- ASLAM Z, JESCHKE WD, BARRETT-LENNARD EG, et al, 1986. Effects of external NaCl on the growth of *Atriplex amnicola* and the ion relations and carbohydrate status of the leaves [J]. *Plant Cell Environ*, 9: 571–580.
- BANNING NC, SAWADA Y, PHILLIPS IR, et al, 2014. Amendment of bauxite residue sand can alleviate constraints to plant establishment and nutrient cycling capacity in a water-limited environment [J]. *Ecol Eng*, 62: 179–187.
- BRUNNER I, SPERISEN C, 2013. Aluminum exclusion and aluminum tolerance in woody plants [J]. *Front Plant Sci*, 4: 172.
- CROSS AT, LAMBERS H, 2017. Young calcareous soil chronosequences as a model for ecological restoration on alkaline mine tailings [J]. *Sci Total Environ*, 607–608: 168–175.
- GELENCSEÉR A, KOVAÁTS N, TUROÓCZI B, 2011. The red mud accident in Ajka (Hungary): Characterization and potential health effects of fugitive dust [J]. *Environ Sci Technol*, 45 (4): 1608–1615.
- JIANG DD, LUO HB, 2010. Growth characteristic of tall fescue on improved red mud substrates [J]. *Guizhou Agric Sci*, 38 (2): 56–58. [姜丁丁, 罗海波, 2010. 赤泥改良基质上草茅的生长特性研究 [J]. *贵州农业科学*, 38 (2): 56–58.]
- JONES BEH, HAYNES RJ, 2011. Bauxite processing residue: A critical review of its formation, properties, storage, and revegetation [J]. *Crit Rev Environ Sci Technol*, 41: 271–315.
- LIU ZH, ZHAO KF, 2005. Effects of salt stress on the growth and Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> contents in *Aeluropus littoralis* var. *sinensis* Debeaux [J]. *J Plant Physiol Mol Biol*, 31 (3): 311–316. [刘志华, 赵可夫, 2005. 盐胁迫对獐茅生长及Na<sup>+</sup>和K<sup>+</sup>含量的影响 [J]. *植物生理与分子生物学报*, 31 (3): 311–316.]
- MAYES WM, BURKE IT, GOMES HI, et al, 2016. Advances in understanding environmental risks of red mud after the Ajka spill, Hungary [J]. *J Sustain Metall*, 2 (4): 332–343.
- MENDEZ MO, MAIER RM, 2007. Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments—an emerging remediation technology [J]. *Environ Health Persp*, 116: 278–283.
- PARIDA AK, DAS AB, 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review [J]. *Ecotox Environ Safe*, 60: 324–349.
- QIU T, JIANG LL, LI SZ, et al, 2017. Small-scale habitat-specific variation and adaptive divergence of photosynthetic pigments in different alkali soils in reed identified by common garden and genetic tests [J]. *Front Plant Sci*, 7: 2016.
- REICH PB, OLEKSYN J, MODRZYNSKI J, et al, 2005. Linking litter calcium, earthworms and soil properties: a common garden test with 14 tree species [J]. *Ecol Lett*, 8: 811–818.
- RUYTERS S, MERTENS J, VASSILIEVAL E, et al, 2011. The red mud accident in Ajka (Hungary): plant toxicity and trace metal bioavailability in red mud contaminated soil [J]. *Environ Sci Technol*, 45 (4): 1616–1622.
- SÁNCHEZ E, SCORDIA D, LINO G, et al, 2015. Salinity and water stress effects on biomass production in different *Arundo donax* L. clones [J]. *Bioen Res*, 8: 1461–1479.
- VALLADARES F, WRIGHT SJ, LASSO E, et al, 2000. Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a Panamanian rainforest [J]. *Ecology*, 81 (7): 1925–1936.
- WARD SC, SUMMERS RN, 1993. Modifying sandy soils with the fine residue from bauxite refining to retain phosphorus and increase plant yield [J]. *Fert Res*, 36: 151–156.
- WEHR JB, FULTON I, MENZIES NW, 2006. Revegetation strategies for bauxite refinery residue: A case study of Alcan Gove in northern territory, Australia [J]. *Environ Manage*, 37: 297–306.
- WU WH, 2008. *Plant physiology* [M]. 2nd ed. Beijing: Science Press. [武维华, 2008. *植物生理学* [M]. (第二版) 北京: 科学出版社.]
- XENIDIS A, HAROKOPOU AD, MYLONA E, et al, 2005. Modifying alumina red mud to support a revegetation cover [J]. *JOM*, 57: 42–46.
- XUE SG, LI XF, KONG XF, et al, 2017. Alkaline regulation of bauxite residue: A comprehensive review [J]. *Acta Sci Circumst*, 37 (8): 2815–2828. [薛生国, 李晓飞, 孔祥峰, 等, 2017. 赤泥碱性调控研究进展 [J]. *环境科学学报*, 37 (8): 2815–2828.]
- XUE SG, ZHU F, KONG XF, et al, 2016. A review of the characterization and revegetation of bauxite residues (red mud) [J]. *Environ Sci Poll Res*, 23: 1120–1132.
- ZHANG LG, WANG GZ, DUAN LC, 2010. Study on improvement of red mud media and planting choosing [J]. *N Hortic*, 22: 31–33. [张乐观, 王国贞, 段璐淳, 2010. 赤泥基质改良及种植植物的筛选研究 [J]. *北方园艺*, 22: 31–33.]
- ZHANG WJ, YANG GW, SUN JJ, et al, 2015. Clonal integration enhances the performance of a clonal plant species under soil alkalinity stress [J]. *PLoS ONE*, 10 (3): e0119942.
- ZHENG YP, ZHU WF, GUO WM, 2012. Soil preparation by mixing and fermenting red mud and molasses alcohol wastewater [J]. *J Guilin Univ Technol*, 32 (1): 109–114. [郑业鹏, 朱文凤, 郭威敏, 2012. 赤泥与糖蜜酒精废液混合掺杂发酵制备土壤 [J]. *桂林理工大学学报*, 32 (1): 109–114.]