

4 种草用于南方稀土尾砂地种植 的适宜性之比较

曹学章¹, 李小青², 池明茹², 张赶年², 陈昌春²

(1.环境保护部 南京环境科学研究所生态室, 江苏 南京 210042; 2.南京信息工程大学 遥感学院, 江苏 南京 210044)

摘要:采用野外小区试验和盆栽试验相结合的方法,对百喜草(*Paspalum notatum*)、狗芽根(*Cynodon dactylon*)、弯叶画眉草(*Eragrostis curvula*)和狼尾草(*Pennisetum alopecuroides*)在稀土尾砂基质上通常条件下、不施肥条件下和经历干旱胁迫下的生长状况进行观测,从生长力、耐旱性和耐瘠性3方面对4种植物在稀土尾砂地的适宜性进行了比较。结果表明,生长力以弯叶画眉草为最优,耐旱性最强的为百喜草,耐瘠性最好的是狼尾草。3个方面综合比较,百喜草和狼尾草最好,其次为弯叶画眉草,狗芽根居末位。试验结果可为南方稀土尾砂地植被恢复时根据具体情况应用这些草种提供参考。

关键词:百喜草;狗芽根;弯叶画眉草;狼尾草;稀土尾砂;适宜性
中图分类号:S543⁺9 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2012)03-0603-06

Comparison of Planting Suitability of Four Herbaceous Plants on Rare Earth Tailings in South China

CAO Xue-zhang¹, LI Xiao-qing², CHI Ming-ru²,
ZHANG Gan-nian², CHEN Chang-chun²

(1. Division of Ecology, Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China; 2. School of Remote Sensing, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Pot and plot experiments were conducted to observe the growth of *Paspalum notatum*, *Cynodon dactylon*, *Eragrostis curvula* and *Pennisetum alopecuroides* on the rare earth tailings under the common condition, the condition without fertilizer and that with drought stress. The suitability of the four herbaceous plants on rare earth tailings were compared from the aspects of growth ability, drought tolerance and barren tolerance. The results showed that *Eragrostis curvula*, *Paspalum notatum* and *Pennisetum alopecuroides* were the best in terms of growth ability, drought tolerance and barren tolerance respectively. Summing up the comparisons in the three aspects, *Paspalum notatum* was the best, followed orderly by *Pennisetum alopecuroides*, *Eragrostis curvula* and *Cynodon dactylon*. The results provided reference for application of the four plants to revegetation on rare earth tailings in South China according to concrete conditions.

Key words: *Paspalum notatum*; *Cynodon dactylon*; *Eragrostis curvula*; *Pennisetum alopecuroides*; rare earth tailings; suitability

我国南方的赣南、粤北、闽西等地拥有丰富的中重稀土资源,尤其是离子吸附型稀土矿为我国特有。20世纪80年代以来,稀土矿被大规模开发,而采矿废弃地治理未得到重视,目前这一地区遗留有大量的稀土矿废弃地,水土流失极为严重^[1],迫切需要加强治理。百喜草(*Paspalum notatum*)、狗芽

收稿日期:2011-10-25 修回日期:2012-03-05

基金项目:国家科技重大专项课题(2009ZX07211-001)

作者简介:曹学章(1967—),女,研究员,硕士,主要从事生态保护研究,E-mail: caoxuezhang@126.com。

根 (*Cynodon dactylon*)、弯叶画眉草 (*Eragrostis curvula*) 和狼尾草 (*Pennisetum alopecuroides*) 是适应本地区气候条件、且抗逆性强的几种草, 已被成功地用于本地区水土流失治理^[2-8]。稀土尾砂地极度贫瘠, 黏粒含量少, 保肥保水能力差, 植物生长条件恶劣。在这样的场地进行植物种植, 要求所选植物具有生长快和抗旱耐瘠性强的特点。本文采用野外小区种植和室内盆栽相结合的方法, 从生长力、耐旱性和耐瘠性 3 方面对上述 4 种植物在稀土尾砂基质种植的适宜性进行相对优劣比较, 以期稀土尾砂地植被恢复时的植物选择提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

野外试验小区设在定南县下庄稀土矿废弃尾砂地。定南县地形以丘陵山地为主, 气候为亚热带丘陵山区湿润季风气候, 年平均气温 18.9 °C, 1 月平均气温 8.3 °C, 7 月平均气温 27.4 °C, 极端最低气温 -5.3 °C, 极端最高气温 38.0 °C, 年平均降水量 1 550 mm。下庄稀土矿位于定南县城东北约 4 km (直线距离), 于 1987 年停止开采。矿区及周边地形为丘陵山地, 试验小区地理座标为东经 115°3'58", 北纬 24°48'39", 海拔约 323 m, 地形近水平。

盆栽试验用稀土尾砂采自上述试验小区所在的尾砂场。在该场地采表层 0~20 cm 尾砂样 3 个进行分析, 其基本理化性质如下: 有机碳 0.18%, 全氮 0.008%, 水解性氮 18 mg/kg, 全磷 15 mg/kg, 有效磷 0.375 mg/kg, 速效钾 17 mg/kg, 全钾 6.56%, 阳离子交换量 5.04 cmol(+)/kg, pH 值 5.39, 粒径 <2 μm 占 2.48% (体积百分比, 下同), 粒径 2~50 μm 占 11.86%, 粒径 50~100 μm 占 3.20%, 粒径 100~250 μm 占 3.54%, 粒径 250~500 μm 占 8.90%, 粒径 0.5~1 mm 占 33.37%, 粒径 1~2 mm 占 36.60%。

试验种植的 4 种植物为百喜草、狗芽根、弯叶画眉草和狼尾草。

1.2 盆栽试验

盆栽试验设 1 个对照处理、2 个干旱胁迫处理和 1 个不施肥处理。①对照 (CK), 播前施生物有机肥 6 g/盆作底肥, 一直正常浇水, 即每 3 天浇水 1 次, 每次浇水至田间持水量的约 60%, 直至收获。②干旱胁迫 2 周 (D2): 施肥同对照, 正常浇水至 100 d 时浇透水, 之后停止浇水 2 周, 再恢复正常浇水至收获。③干旱胁迫 3 周 (D3): 施肥同对照, 正常浇水至 100 d 时浇透水, 之后停止浇水 3 周, 再恢复正常浇水至收获。④不施肥 (NF): 不施肥, 但一直正常浇水至收获。每处理 3 个重复, 4 种草共 48 盆。每盆装稀土尾砂 2 kg (风干重量), 草种浸泡一夜后播于盆中, 每盆播种量: 百喜草 30 粒、狗芽根 200 粒、弯叶画眉草 50 粒、狼尾草 30 粒。播种后 100 d 测株高, 107 d 起对干旱胁迫组观测干旱胁迫下叶片形态变化及复水后叶片恢复情况, 每周观测 1 次。135 d 收获, 用清水洗干净, 吸干植物上的水分, 将植株剪成地上部和地下部, 带回实验室用烘箱烘至恒重, 测地上部和地下部干重。

1.3 小区试验

小区试验每种植物设 3 个重复 (即 3 个小区), 4 种植物共 12 个小区, 每个小区面积为 1 m×1 m, 小区之间相隔 20 cm。将小区平整, 按 300 g/m² 的用量施入 N+P₂O₅+K₂O≥6%、有机质含量≥45% 的微生物肥料作基肥, 并将肥料与表层尾砂混合。各植物都采用播种方式种植, 种子用量 20 g/m², 播前不对种子作任何处理, 直接将干种子均匀撒在小区表面, 并用尾砂薄层覆盖。播种日期为 2011 年 4 月 19 日。播后不进行浇水、施追肥、除草、杀虫等人为管理措施 (包括在播种当日也不浇水)。2011 年 11 月 3 日采样, 植物生长天数为 198 d。首先用数码相机对每个小区进行垂直拍照, 带回室内分析植被盖度。拍照完成后, 对每个小区选取 50 cm×50 cm 的样方, 收获样方植物 (包括地上部和地下部)。收获的植物用清水洗干净, 吸干植物上的水分, 测株高和主根长, 然后将植株剪成地上部和地下部, 带回实验室测干重。

1.4 测定方法

株高和主根长: 抽样测定。小区试验: 将每个样方的全部植株摊放成高矮搭配均匀的一排, 从中抽取 10% 左右, 逐株测定株高和主根长, 计算平均值。盆栽试验: 每盆选取 8~16 株测定株高 (长势较均匀的取样少一些, 差异较大的取样多一些), 计算平均值。测定的株高为生理株高, 即植株拉直后所具有的最大高度^[9]。

生物量: 将植物样用烘箱烘至恒重, 称地上部和地下部干重。

干旱胁迫下叶片形态变化: 用目测法观测叶片卷曲、萎蔫和颜色变化的程度。

恢复供水后叶片恢复情况:用目测法观测有无叶片恢复正常生长(指颜色恢复为原来的鲜绿色,叶片伸展开)及恢复程度。

植被盖度:用数字图像法测定^[10]。

1.5 评价方法

1.5.1 评价要素和指标 从生长力、耐旱性和耐瘠性3方面(评价要素)对4种植物在稀土尾砂基质种植的适宜性进行比较。选取的评价指标为:

生长力:野外小区试验的植物株高、主根长、盖度、地上部干重和地下部干重。

耐旱性:盆栽试验中干旱胁迫处理与对照的生物量干重之比、干旱胁迫下的叶片形态变化、干旱胁迫处理恢复供水后叶片的恢复情况。

耐瘠性:盆栽试验中不施肥处理与对照的生物量干重比值和株高比值。

1.5.2 指标值转化 对于有定量数据的指标,按照公式(1)将指标原始值转换为归一化值:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \text{Min}(x_{ij})}{\text{Max}(x_{ij}) - \text{Min}(x_{ij})} \quad (1)$$

(1)式中: r_{ij} 为植物的*i*要素*j*指标归一化值, x_{ij} 为植物的*i*要素*j*指标原始值, $\text{Min}(r_{ij})$ 为各植物*i*要素*j*指标原始值中的最小值, $\text{Max}(r_{ij})$ 为各植物*i*要素*j*指标原始值中的最大值。

对于定性描述的指标(“干旱胁迫下的叶片形态变化”和“干旱胁迫处理恢复供水后叶片的恢复情况”2个指标),定性判定各草种在该指标上的差异,将定性描述的优劣转换为0~1之间的数值,最好的为1,最差的为0,其他的根据定性描述的相互差异大小确定一个合适的数值。

1.5.3 单要素评分 单要素(生长力、耐旱性、耐瘠性)评分按公式(2)和(3)计算:

$$V_i = \left(\sum_{j=1}^{n_i} r_{ij} \right) / n_i \quad (2)$$

$$V'_i = \frac{V_i}{\text{Max}(V_i)} \quad (3)$$

(2)式中: V_i 为植物*i*要素的原始分值, r_{ij} 为植物的*i*要素*j*指标归一化值, n_i 为*i*要素的指标个数。

(3)式中: V'_i 为植物*i*要素的归一化评分值。 $\text{Max}(V_i)$ 为各植物*i*要素原始分值中的最大值。

将归一化评分值划分为5个区间,进行单要素评价:0.8~1为I级,0.6~0.8为II级,0.4~0.6为III级,0.2~0.4为IV级,0~0.2为V级。

1.5.4 综合评价 按公式(4)计算各植物的综合评分值,进行各植物适宜性的综合比较:

$$U = \left(\sum_{i=1}^3 V'_i \right) / 3 \quad (4)$$

(4)式中: U 为植物的综合评分值, V'_i 为植物*i*要素的归一化评分值。

2 结果分析

2.1 生长力比较

生长力主要反映在一般情况下(本文小区试验中,施中等用量的基肥、播种后不进行人为管理、未发生导致草类死亡的极端天气,即属一般情况),植物在野外生长状况的相对优劣。表1显示,从生长力指标看,4种草各有优势,百喜草地上部干重最大,狗芽根主根长度最大,弯叶画眉草株高和盖度最大,狼尾草则地下部干重最大。综合比较,生长力最优的为弯叶画眉草,其次是狼尾草,再次为百喜草,狗芽根居末位。

2.2 耐旱性比较

多数情况下,矿山废弃地不具有灌溉条件,因此所选植物应具有尽可能强的耐旱性。本区干旱胁迫最大的时间是7月份,也就是在正常播种时间的3~4个月后,因此耐旱性试验中,干旱胁迫是从播种100d后开始,分别在停止浇水2周和3周后再恢复供水,观测各草种的耐旱性。耐旱能力既体现在干旱胁迫下叶片形态的变化和恢复供水后叶片的恢复情况上,也体现在干旱胁迫与对照(正常浇水)的生物量比值上。

表 1 供试草种生长力比较
Tab.1 Comparison of growth ability of the experimental species

植物种 Species	株高 Plant height		主根长 Main root length		地上部干重 Aboveground dry weight		地下部干重 Underground dry weight		盖度 Coverage		原始分 Original score	归一化评分 Normalized score	等级 Grade
	测定值 /cm Measured value	归一化值 Normalized value	测定值 /cm Measured value	归一化值 Normalized value	测定值 /(g·m ⁻²) Measured value	归一化值 Normalized value	测定值 /(g·m ⁻²) Measured value	归一化值 Normalized value	测定值/% Measured value	归一化值 Normalized value			
百喜草 <i>Paspalum notatum</i> 狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i> 弯叶画眉草 <i>Eragrostis curvula</i> 狼尾草 <i>Pennisetum alopecuroides</i>	5.3	0	5.5	0	109.2	1	106.7	0.888	40.8	0.263	0.430	0.714	II
	7.7	0.6	8.9	1	66.9	0	58.1	0.128	35.3	0	0.346	0.575	III
	9.3	1	7.2	0.5	88.5	0.511	49.9	0	56.2	1	0.602	1	I
	7.7	0.6	6.6	0.324	79.7	0.303	113.9	1	39.5	0.201	0.486	0.807	I

表 2 给出了干旱胁迫时各草种叶片形态变化的定性描述,并将其转换成定量的 0—1 之间的赋分值。表 3 给出了干旱胁迫处理恢复供水后各草种叶片恢复情况的定性描述,并将其转换成定量的 0—1 之间的赋分值。表 4 是干旱胁迫与对照(正常浇水)的生物量干质量之比。

表 2 干旱胁迫下植物叶片形态变化

Tab.2 Morphological changes of leaves under drought stress

草种 Species	停止浇水 1 周 Watering suspended for a week	停止浇水 2 周 Watering suspended for two weeks	停止浇水 3 周 Watering suspended for three weeks	赋分 Score
百喜草 <i>Paspalum notatum</i>	基本无变化	基本无变化	几乎全部卷曲,颜色暗绿	1
狗芽根 <i>Cynodon dactylon</i>	基本无变化	几乎全部卷曲,颜色浅绿夹浅黄	全部卷曲,颜色灰绿夹浅黄	0.3
弯叶画眉草 <i>Eragrostis curvula</i>	基本无变化	几乎全部卷曲,颜色黄绿	全部卷曲,颜色灰绿夹黄	0.7
狼尾草 <i>Pennisetum alopecuroides</i>	基本无变化	全部卷曲,萎蔫,颜色灰绿夹黄	全部卷曲,萎蔫,颜色浅灰绿夹黄	0

表 3 干旱胁迫处理恢复供水后叶片恢复情况

Tab.3 Recovery of leaves after watering recovered for the drought stress treatments

草种 Species	干旱胁迫 2 周处理 Treatment of drought stress for two weeks			干旱胁迫 3 周处理 Treatment of drought stress for three weeks		赋分 Score
	复水 1 周后	复水 2 周后	复水 3 周后	复水 1 周后	复水 2 周后	
百喜草 <i>Paspalum notatum</i> 狗芽根 <i>Cynodon dactylon</i> 弯叶画眉草 <i>Eragrostis curvula</i> 狼尾草 <i>Pennisetum alopecuroides</i>	正常生长	正常生长	正常生长	少量叶片恢复	恢复叶片新增少量	1
	无叶片恢复	无叶片恢复	无叶片恢复	无叶片恢复	无叶片恢复	0
	基本恢复正常生长	基本恢复正常生长	基本恢复正常生长	无叶片恢复	无叶片恢复	0.5
	无叶片恢复	无叶片恢复	无叶片恢复	无叶片恢复	无叶片恢复	0

表 5 是根据干旱胁迫下叶片形态变化、干旱胁迫再恢复供水后叶片恢复情况、干旱胁迫与正常浇水的生物量干质量之比 3 项指标进行的耐旱性比较。表 5 显示,4 种草相比较,耐旱性以百喜草为最好,狼尾草最差,其他 2 种草居中。干旱胁迫下,百喜草叶片形态变化最慢,停止浇水 2 周后基本无变化,其他 3 种草则显著变化。与此相对应,停止浇水 2 周对百喜草生物量的影响很小,135 d 生物量干质量只比正常浇水处理减少了 8.4%,减少的比例明显小于其他 3 种草。恢复供水后,百喜草的叶片恢复状况也最好。停止浇水 3 周后,全部 4 种草的叶片形态都有显著变化,百喜草在恢复供水 1 周后即有少量叶片恢复,恢复供水 2 周后叶片恢复数量又有所增加,而其他 3 种草在恢复供水 2 周后仍无叶片恢复。

表4 干旱胁迫与正常浇水处理的生物量干重对比

Tab.4 Comparison of dry weight between the treatments of drought stress and normal watering

草种 Species	生物量干重测定值/(g·盆 ⁻¹) Measured value of dry weight			干旱胁迫与对照的生物量干质量之比 Ratio of dry weight of drought stress treatments to CK			归一化值 Normalized value
	对照 CK	干旱胁迫 2 周 (D2)	干旱胁迫 3 周 (D3)	原始值 Original value			
		Treatment of drought stress for two weeks (D2)	Treatment of drought stress for three weeks (D3)	D2 与 CK 之比 D2 to CK	D3 与 CK 之比 D3 to CK	平均 Average	
百喜草 <i>Paspalum notatum</i>	7.42	6.80	4.67	0.916	0.629	0.773	0.924
狗芽根 <i>Cynodon dactylon</i>	10.42	7.45	8.90	0.715	0.854	0.785	1
弯叶画眉草 <i>Eragrostis curvula</i>	6.78	4.89	3.63	0.721	0.535	0.628	0
狼尾草 <i>Pennisetum alopecuroides</i>	9.44	6.52	6.49	0.691	0.688	0.690	0.395

表5 供试草种耐旱性比较

Tab.5 Comparison of drought tolerance of the experimental species

草种 Species	干旱胁迫下叶片状况赋值 Score of leaf status under drought stress	复水后叶片恢复状况赋值 Score of leaf recovery after re-watering	干旱胁迫与对照的干质量之比归一化值 Normalized value of dry weight ratio of drought stress treatments to CK	耐旱性评分 Score of drought tolerance		耐旱性等级 Grade of drought tolerance
				原始分值 Original score	归一化评分值 Normalized score	
				百喜草 <i>Paspalum notatum</i>	1	
狗芽根 <i>Cynodon dactylon</i>	0.3	0	1	0.433	0.444	III
弯叶画眉草 <i>Eragrostis curvula</i>	0.7	0.5	0	0.4	0.410	III
狼尾草 <i>Pennisetum alopecuroides</i>	0	0	0.395	0.132	0.135	V

2.3 耐瘠性比较

稀土尾砂十分瘠薄。在这样的场地上进行植物种植,施肥是不可少的,但是不可能经常施肥,也不可能施用很多的肥料。因此,耐瘠性也是选择植物种类时需要考虑的方面。本试验采用不施肥处理与对照的 135 d 生物量干质量比值和 100 d 株高比值作为耐瘠性指标。从表 6 可见,狼尾草的耐瘠性显著好于其他 3 种草。

2.4 综合比较

根据生长力、耐旱性和耐瘠性 3 要素的归一化评分值,按公式(4)计算得到各草种的综合评分值(表 7)。从表 7 可见,综合比较,百喜草和狼尾草最好,弯叶画眉草其次,狗芽根居末位。

3 结论与讨论

百喜草、狗芽根、弯叶画眉草和狼尾草 4 种草相比较,生长力以弯叶画眉草为最优,耐旱性最强

表6 供试草种耐瘠性比较

Tab. 6 Comparison of barren tolerance of the experimental species

草种 Species	测定值 Measured value				不施肥与对照的比值 Ratio of no fertilization to CK				耐瘠性评分 Score of barren tolerance		耐瘠性 等级 Grade of barren tolerance
	干质量/(g·盆 ⁻¹) Dry weight		株高/cm Plant height		原始值 Original value		归一化值 Normalized value		原始 分值 Original value	归一化 评分值 Normalized value	
	不施肥 No fertilization	对照 CK	不施肥 No fertilization	对照 CK	干质量 Dry weight	株高 Plant height	干质量 Dry weight	株高 Plant height			
百喜草 <i>Paspalum notatum</i>	0.13	7.42	6.0	31.8	0.017 5	0.188 7	0.06	0.441	0.251	0.251	IV
狗芽根 <i>Cynodon dactylon</i>	0.19	10.42	1.6	32.3	0.018 2	0.049 5	0.066	0	0.033	0.033	V
弯叶画眉草 <i>Eragrostis curvula</i>	0.07	6.78	4.8	48.0	0.010 3	0.1	0	0.160	0.08	0.08	V
狼尾草 <i>Pennisetum alopecuroides</i>	1.23	9.44	16.8	46.0	0.130 3	0.365 2	1	1	1	1	I

表7 供试草种用于南方稀土尾砂种植的适宜性综合比较

Tab.7 Comprehensive comparison of the planting suitability of the experimental species on the rare earth tailings in South China

草种 Species	生长力评分值 Score of growth ability	耐旱性评分值 Score of drought tolerance	耐瘠性评分值 Score of barren tolerance	综合评分值 Comprehensive score
百喜草 <i>Paspalum notatum</i>	0.714	1.000	0.251	0.655
狗芽根 <i>Cynodon dactylon</i>	0.575	0.444	0.033	0.351
弯叶画眉草 <i>Eragrostis curvula</i>	1.000	0.410	0.080	0.497
狼尾草 <i>Pennisetum alopecuroides</i>	0.807	0.135	1.000	0.647

的为百喜草，耐瘠性最好的是狼尾草。3个方面综合比较，百喜草和狼尾草最好，其次为弯叶画眉草，狗芽根居末位。供试的4种草都是适应南方稀土尾砂分布区水热条件、抗逆性强的水土保持用草种。本文对它们在稀土尾砂地种植的适宜性进行比较，评价结果只是相对优劣。从结果来看，4种草各有其相对的优势和劣势方面，在实际用种搭配时，可根据具体情况有所侧重。在水分条件较差的区域，以百喜草为主，可降低极端干旱带来的植物枯死风险。在水分条件相对好的区域，正常施肥情况下以弯叶画眉草为主，可发挥其生长力强的优势；如只是少量施肥，则以狼尾草为主较好。

参考文献:

- [1] 许炼烽,刘明义,凌垣华.稀土矿开采对土地资源的影响及植被恢复[J].农村生态环境,1999,15(1):14-17.
- [2] 肖衍良,徐朋,杨人群,等.斜坡果园的覆盖作物:百喜草和糖蜜草[J].福建水土保持,1993(4):26-28.
- [3] 李德荣,董闻达,廖汉民,等.治理稀土尾砂中百喜草的生长和促苗措施的研究[J].江西农业大学学报,2001,23(1):93-95.
- [4] 李德荣,王静,董闻达.百喜草在我国南方红壤坡地农业可持续发展中的应用与地位[J].江西农业大学学报,2003,25(6):948-952.
- [5] 喻荣岗,左长清,杨洁,等.红壤侵蚀区优良水土保持草本植物的选择及评价[J].水土保持通报,2008,28(2):205-210.
- [6] 胡宏伟,姜必亮,蓝崇钰,等.广东乐昌铅锌尾矿废弃地酸化控制研究[J].中山大学学报:自然科学版,1999,38(3):68-71.
- [7] 蔡剑华,游云龙.弯叶画眉草在红壤矿区尾砂坝的生态适应性及其防护效果[J].环境与开发,1995,10(3):1-5.
- [8] 陈志彪,涂宏章,谢跟踪.采矿迹地生态重建研究实例[J].水土保持研究,2002,9(4):31-32.
- [9] 黄瑞冬,李广权.玉米株高整齐度及其测定方法的比较[J].玉米科学,1995,3(2):61-63.
- [10] 关法春,梁正伟,王忠红.方格法与数字图像法测定盐碱化草地植被盖度的比较[J].东北农业大学学报,2010,41(1):130-133.