铁尾矿修复植物选择研究

李想¹, 车晓雨², 王锦³, 张宝娟⁴, 李玉灵^{1,5}

(1 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000; 2 河北农业大学 园林与旅游学院, 河北 保定 071000;

3 河北农业大学 人文社会科学学院, 河北 保定 071000; 4 天津天狮学院, 天津 301700;

5 河北省林木种质资源与森林保护重点实验室, 河北 保定 071000)

摘要: 针对铁尾矿植被恢复时植物可选种类少、适应性差, 影响植被修复技术推广的现状, 在唐山首钢马兰庄镇铁尾矿废弃地上直接播种紫苜蓿、紫穗槐、皂荚、暴马丁香、刺槐 5 种植物, 对每种植物的株高、地径、根长、地上生物量、地下生物量和根冠比等生长指标进行测定分析, 结果表明: 到 2014 年 9 月, 刺槐在 5 种植物中表现最佳, 适应性最强, 株高(77.67 cm)、地径(6.33 cm)、根长(23.97 cm)、地上生物量(2 040.19 g/m²)和地下生物量(839.01 g/m²)及这 5 种指标的年生长量均达最大值; 除地径外, 紫苜蓿的各项生长指标表现次之; 紫穗槐、暴马丁香、皂荚较差。2013 年 9 月, 各植物的根冠比由大到小依次为紫穗槐(1.04)、皂荚(0.83)、暴马丁香(0.56)、刺槐(0.37)、紫苜蓿(0.32); 2014 年 9 月各植物的根冠比由大到小依次为皂荚(1.71)、暴马丁香(0.91)、紫穗槐(0.80)、紫苜蓿(0.50)、刺槐(0.41)。综合考虑, 刺槐和紫苜蓿可分别作为适宜铁尾矿修复的最佳树种和草本植物。

关键词: 铁尾矿; 植物修复; 生物量; 根冠比

中图分类号: S 715

文献标志码: A

The research of plant selection for iron tailings repairing

LI Xiang¹, CHE Xiaoyu², WANG Jin³, ZHANG Baojuan⁴, LI Yuling^{1,5}

(1 College of Forestry, Agricultural University of Heibei, Baoding 071000, China;

2 College of Landscape and Travel, Agricultural University of Heibei, Baoding 071000, China;

3 College of Humanities and Social Sciences, Agricultural University of Heibei, Baoding 071000, China;

4 Tianshi College of Tianjin, Tianjin 301700, China; 5 Key Laboratory of Genetic Resources of Forest and Forest Protection of Heibei province, Baoding 071000, China)

Abstract: The purpose of the research is to solve the problem that not enough plants can be chosen for iron tailing repairing and the low adaptability of many plants, which have prevented the promotion of vegetation restoration technology. Five plants (*Medicago sativa* L., *Amorpha fruticosa* L., *Gleditsia sinensis* Lam., *Syringa reticulata* (Blume) H. Hara var. *amurensis* (Rupr.) J.S. Pringle and *Robinia pseudoacacia* L.) were sowed directly in ground of discarded iron tailings at Malan county in Tangshan Shougang of China. The growth indices

收稿日期: 2016-05-17; 修改稿收期: 2016-06-14

基金项目: 国家林业局林业行业公益专项“环京津生态脆弱区生态经济植被建设技术研究”(201404214); 河北省科技支撑计划专题“基于植被恢复的铁尾矿废弃地地质修复技术研究”(12236726D-X)。

作者简介: 李想(1995-), 男, 河北承德人, 在读本科生, 主要从事恢复生态学研究。

通讯作者: 李玉灵(1962-), 女, 内蒙古集宁人, 教授, 博士生导师, 主要从事植物生理生态学、恢复生态学的研究。

of plant height, ground diameter, root length, aboveground biomass, underground biomass and root cap ratio were measured and analyzed. The main results were as follow: Until to September 2014 the growth condition and adaptability of *Robinia pseudoacacia* L. were the best among 5 plants, the plant height of which was 77.67 cm, ground diameter as 6.33 cm, root length as 23.97 cm, aboveground biomass as 2 040.19 g/m², underground biomass as 839.01 g/m², and the annual growths of the above indices all reached the maximum compare to the other plants. Except for the ground diameter index, *Medicago sativa* L. ranked as the second. The growth of *Amorpha fruticosa* L., *Syringa reticulata* (Blume) H. Hara var. *amurensis*(Rupr.) J.S. Pringle and *Gleditsia sinensis* Lam. were relatively poor. In September 2013, the descending order of the root cap ratios of these plants was *Amorpha fruticosa* L. (1.04), *Gleditsia sinensis* Lam. (0.83), *Syringa reticulata* (Blume) H. Hara var. *amurensis*(Rupr.) J.S. Pringle (0.56), *Robinia pseudoacacia* L. (0.37), and *Medicago sativa* L. (0.32). In September 2014, the descending order of the plant root cap ratios was *Gleditsia sinensis* Lam. (1.71), *Syringa reticulata* (Blume) H. Hara var. *amurensis* (Rupr.) J.S. Pringle (0.91), *Amorpha fruticosa* L. (0.80), *Medicago sativa* L. (0.50), *Robinia pseudoacacia* L. (0.41). With the comprehensive consideration, *Robinia pseudoacacia* L. is the best tree species of vegetation restoration on the tailings. *Medicago sativa* L. can be used as the dominant herbaceous plant species for the restoration of iron tailings wastelands.

Key words: iron tailing; vegetation remediation; biomass; root cap ratio

未经处理的铁尾矿大量堆积,形成尾矿坝和尾矿山,占用大量土地资源,破坏生态环境和生物多样性^[1],对经济及社会的可持续发展构成严重威胁^[2-3]。因此,对铁尾矿进行生态治理成为当前研究的热点^[4-6]。植物修复作为一种“绿色修复技术”^[7],对尾矿废弃地进行科学治理是非常有效的^[4-5]。它不但可以对尾矿区形成植被覆盖,防止扬尘污染,也对其景观修复有较好的效果。正是由于投入较小而效果较好,才使得植物修复成为尾矿治理的重要方法。然而,铁尾矿基质养分贫瘠、保肥蓄水能力差,影响植物的正常生长发育^[3,8]。因此,选择适应尾矿生长的植物种类成为影响其推广应用的主要因素。紫苜蓿(*Medicago sativa* L.)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa* L.)、皂荚(*Gleditsia sinensis* Lam.)、刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)均是多年生豆科植物,不但抗逆性强,适应范围广,而且根系发达,常有根瘤菌伴生,能够改善土壤理化性质^[9]。暴马丁香[*Syringa reticulata* (Blume) H. Hara var. *amurensis* (Rupr.) J.S. Pringle]枝繁叶茂,花芳香四溢,具有很强的观赏价值,同时具有一定的抗逆性。因此,本研究在唐山市马兰庄镇铁尾矿废弃地上直接播种紫苜蓿、紫穗槐、皂荚、刺槐和暴马丁香5种植物,对各植物生长状况进行研究分

析(株高、根长、地径、地上生物量、地下生物量、根冠比等),以期筛选出适宜在恶劣的尾矿上生长可作为尾矿修复的植物种类,为尾矿的科学治理提供依据。

1 研究区概况

研究区位于河北省唐山市马兰庄镇(北纬 39° 51'~40° 51',东经 118° 29'~118° 56')。该地区属暖温带大陆性季风气候,春季干燥多风,夏季闷热多雨,秋季昼暖夜凉,冬季寒冷少雪。年平均气温 10.1℃,昼夜温差较大,年日照时数 2 674.3 h,有效积温达 3 851℃,无霜期约 168 d,年平均降水量基本维持在 700~800 mm。试验所在地为人工堆积而成的铁尾矿山。裸尾矿土壤质地为沙质,极端贫瘠,且养分不平衡,不利于植物生长^[9]。境内植物稀少,木本植物以桑树(*Morus alba* L.)和紫穗槐为主;草本植物以狗尾草[*Setaria viridis* (L.) Beauv.]、猪毛蒿(*Artemisia scoparia* Waldst. et Kit.)、灰绿藜(*Chenopodium glaucum* L.)为主。

2 材料与方法

2.1 试验地设置

在研究区内选择 1 处通风良好、光照充足的空

旷尾矿地,在遵循试验样地与周边环境一致性的原则下,选择立地条件基本一致的3块造林试验地。1号试验地播种紫苜蓿,2号试验地混合播种紫穗槐、皂荚和暴马丁香,3号试验地播种刺槐,均于2013年6月中旬进行播种,播种方式为沟播,沟行距为0.5 m。

2.2 植物生长情况调查

于2013年9月下旬和2014年9月下旬植物停止生长时,分别在3块试验地内,按照随机布点的方法,设置3个1 m×1 m的样方,对每种植物各生长指标进行调查。调查顺序为,先测定植物的株高、地径,而后采用“全株收获法”将植株连根拔出,用直尺测量植物根长,并将植物按地上部分和地下部

分分开,放入封口袋,包装编号后带回实验室。将植物洗净晾干后放入烘箱中,在80℃下恒温烘干至恒重,计算植物的地下生物量、地上生物量和根冠比。

2.3 数据处理

采用单因素方差分析法对5种植物各生长指标进行差异显著性检验,用LSD法进行多重比较,显著性水平为0.05。所有数据统计分析均在Excel 2007和DPS V7.05软件上完成。

3 结果与分析

3.1 地上部分生长量

5种植物地上部分生长情况调查结果见表1。

表1 各植物地上部分生长情况

Table 1 Growth situation of different plants for aboveground part

植物 Plants	株高/cm Height			地径/cm Ground diameter			地上生物量/(g·m ⁻²) Aboveground biomass		
	201309	201409	年生长量	201309	201409	年生长量	201309	201409	年生长量
			Annual growth			Annual growth			Annual growth
紫苜蓿	1.26	56.67	55.41 b	0.10	2.28	2.18 b	9.60	348.35	338.75 b
紫穗槐	2.88	11.50	8.62 c	0.14	2.46	2.32 b	9.10	25.41	16.31 b
皂荚	6.18	8.73	2.55 c	0.24	1.61	1.37 b	3.10	6.23	3.13 b
暴马丁香	0.45	7.12	6.67 c	0.11	0.27	0.16 b	0.59	7.50	6.91 b
刺槐	6.22	77.67	71.45 a	0.13	6.33	6.20 a	52.03	2 040.19	1 988.16 a

注:表中数据代表3次重复的平均值,相同字母表示无显著性差异,不同字母表示差异显著($P<0.05$),下同。

3.1.1 株高 由表1各植物地上部分株高生长情况可知,2013年9月—2014年9月,随着植物生长期的延长,几种植物株高均逐渐增加;到2014年9月,刺槐和紫苜蓿株高较大,分别为77.67 cm和56.67 cm,紫穗槐、皂荚、暴马丁香较小,分别为11.50 cm、8.73 cm和7.12 cm;紫苜蓿虽为草本,却比紫穗槐、皂荚和暴马丁香3种木本植物植株高大。株高年生长量由大到小依次为刺槐、紫苜蓿、紫穗槐、暴马丁香、皂荚,分别为71.45 cm、55.41 cm、8.62 cm、6.67 cm和2.55 cm;刺槐、紫苜蓿与其他4种植物株高生长量均存在显著差异($P<0.05$),紫穗槐、暴马丁香、皂荚3种植物株高年生长量均较低,且相互间差异不显著($P>0.05$)。可见,刺槐和紫苜蓿较其他3种植物适宜在铁尾矿上生长的优势已初步显现出来。

3.1.2 地径 由表1各植物地上部分地径生长情况可知,2013年9月—2014年9月,随着植物生长期的延长,几种植物的地径均逐渐增加;到2014年9月,地径由大到小依次为刺槐、紫穗槐、紫苜蓿、皂荚、暴马丁香,分别为6.33 cm、2.46 cm、2.28 cm、1.61 cm和0.27 cm。在地径年生长量比较中,刺槐仍表现最佳,紫穗槐、紫苜蓿、皂荚次之,暴马丁香地径年生长量最低。5种植物地径年生长量由大到小依次为6.20 cm、2.32 cm、2.18 cm、1.37 cm和0.16 cm;刺槐地径年生长量与其他4种植物的差异均达到显著水平($P<0.05$),而紫苜蓿、紫穗槐、皂荚、暴马丁香4种植物间并未表现出显著性差异($P>0.05$)。可见,均处于苗期的紫穗槐和紫苜蓿,与株高相比,紫穗槐地径生长较强势,紫苜蓿则倾向于株高生长,这可能是由于紫苜蓿为草本植物,地

径生长受自身生物学特性所限。

3.1.3 地上生物量 由表1各植物地上生物量情况可知,2013年9月—2014年9月,随着植物生长期的延长,几种植物的地上生物量均逐渐增加;无论2013年9月还是2014年9月,刺槐地上生物量均最大,紫苜蓿次之,皂荚、暴马丁香和紫穗槐较小。各植物地上生物量年生长量与地上生物量状况变化趋势相同,由大到小依次为刺槐(1 988.16 g/m²)、紫苜蓿(338.75 g/m²)、紫穗槐(16.31 g/m²)、暴马丁

香(6.91 g/m²)、皂荚(3.13 g/m²);刺槐地上生物量年生长量与其他4种植物均表现出显著差异($P < 0.05$),紫苜蓿、紫穗槐、暴马丁香、皂荚4种植物间并没有表现出显著性差异($P > 0.05$)。从各植物地上部分生长情况看,刺槐最适宜作为铁尾矿废弃地植被恢复树种。

3.2 地下部分生长量

5种植物地下部分生长情况见表2。

表2 各植物地下部分和根冠比的生长情况

Table 2 Growth situation of different plants for underground part and root cap ratios

植物 Plants	根长/cm Root length			地下生物量/(g·m ⁻²) Underground biomass			根冠比 Root cap ratio	
	201309	201409	年生长量	201309	201409	年生长量	201309	201409
			Annual growth			Annual growth		
紫苜蓿	4.09	18.87	14.78 a	3.04	175.44	172.40 b	0.32	0.50
紫穗槐	5.49	12.97	7.48 b	9.50	20.40	10.90 c	1.04	0.80
皂荚	4.35	8.10	3.75 b	2.58	10.66	8.08 c	0.83	1.71
暴马丁香	1.92	6.73	4.81 b	0.33	6.80	6.47 c	0.56	0.91
刺槐	7.36	23.97	16.61 a	19.29	839.01	819.72 a	0.37	0.41

3.2.1 根长 由表2各植物地下部分根长生长情况可知,2013年9月—2014年9月,随植物生长期的延长,几种植物根长均逐渐增加;2014年9月,刺槐根长最长,为23.97 cm,紫苜蓿次之,为18.87 cm,暴马丁香最小,为6.73 cm。根长年生长量由大到小依次为刺槐、紫苜蓿、紫穗槐、暴马丁香、皂荚,分别为16.61 cm、14.78 cm、7.48 cm、4.81 cm和3.75 cm。刺槐和紫苜蓿与其他3种植物相比,根长年生长量均存在显著差异($P < 0.05$),但刺槐和紫苜蓿二者间并无显著差异,紫穗槐、皂荚、暴马丁香三者间也无显著差异($P > 0.05$)。

3.2.2 地下生物量 由表2各植物地下生物量情况可知,2013年9月—2014年9月,随着植物生长期的延长,几种植物地下生物量均逐渐增加;到2014年9月,刺槐地下生物量最大,为839.0 kg/m²,且明显高于其他4种植物。地下生物量年生长量由大到小依次为刺槐(819.72 g/m²)、紫苜蓿(172.40 g/m²)、紫穗槐(10.90 g/m²)、皂荚(8.08 g/m²)、暴马丁香(6.47 g/m²);刺槐、紫苜蓿地下生物量年生长量都与其他4种植物存在显著差异($P < 0.05$),紫穗槐、皂荚、暴马丁香三者间差异不显著($P > 0.05$)。

3.3 根冠比

由表2各植物根冠比情况可知,2013年9月,4种木本植物的根冠比均高于草本植物紫苜蓿,其中紫穗槐根冠比最大(1.04)。2014年9月,仍是木本植物皂荚(1.71)、暴马丁香(0.91)和紫穗槐(0.80)根冠比较大,紫苜蓿(0.50)和刺槐(0.41)较小。紫穗槐、皂荚和暴马丁香虽整体长势不佳,却有较大的根冠比。可见,在恶劣的裸尾矿环境下,紫穗槐、皂荚和暴马丁香选择优先将资源用于地下根系的生长,从而获得更多水分和养分,以满足其生长需求^[10]。而刺槐和紫苜蓿两种植物虽长势好,但根冠比在5种植物中最小,在有限的资源条件下,则将更多物质分配给地上部分生长。这也体现了不同植物在不利环境下具有不同的资源配置策略,以便存活生长。

4 结论

树种选择是植被恢复的关键技术之一^[3],株高、根长、地径、生物量等的变化程度是衡量植物对铁尾矿不良理化性质条件所具适应性的综合指标。

经对唐山首钢马兰庄镇铁尾矿废弃地播种的

紫苜蓿、紫穗槐、皂荚、暴马丁香、刺槐 5 种植物生长指标的测定分析表明:到 2014 年 9 月,刺槐在 5 种植物中表现最佳,适应性最强,株高、地径、根长、地上生物量、地下生物量均最大,分别为 77.67 cm、6.33 cm、23.97 cm、2 040.19 g/m²、839.01 g/m²,各指标的年生长量也是最大的,分别为 71.45 cm、6.20 cm、16.61 cm、1 988.16 g/m²、819.72 g/m²;除地径外,紫苜蓿的各项生长指标表现次之,紫穗槐、暴马丁香、皂荚较差。2013 年 9 月各植物的根冠比由大到小依次为紫穗槐(1.04)、皂荚(0.83)、暴马丁香(0.56)、刺槐(0.37)、紫苜蓿(0.32),2014 年 9 月各植物的根冠比由大到小依次为皂荚(1.71)、暴马丁香(0.91)、紫穗槐(0.80)、紫苜蓿(0.50)、刺槐(0.41)。

刺槐为乔木树种,是世界上重要的速生阔叶树种之一^[11],抗逆性极强,对土壤要求不高,在中性土、酸性土、含盐量 0.3% 以下的盐碱土上都能正常生长发育^[9]。紫苜蓿为多年生草本植物,再生性强,产量高,耐干旱,耐冷热^[12]。相关研究表明,刺槐和紫苜蓿作为豆科植物,均能产生固氮根瘤菌,具有改善铁尾矿养分贫瘠的理化性质的功能,从而通过植被恢复使铁尾矿得到进一步治理^[9]。因此,不难理解本研究中刺槐和紫苜蓿较其他 3 种植物长势较好,各项指标较高,对铁尾矿具有较强适应性的结果。这也与张焯等的研究结果具有相似性^[13]。可见,刺槐是这 5 种植物中最适宜作为尾矿修复的树种,紫苜蓿是可作为尾矿修复的优良草本植物。

此外,有研究显示,采用不同的植被恢复模式对铁尾矿治理具有不同的效果,草本植物较木本植物表现出更强的植物演替先锋性^[9]。因此,是选择先播种草本植物紫苜蓿再栽植木本植物刺槐的模式,还是采取刺槐下播种紫苜蓿的乔草混交模式,更有利于尾矿植被恢复,还有待进一步研究。

暴马丁香作为景观植物,虽芳香四溢、观赏性强,但本试验结果显示,暴马丁香长势差,各项生长

指标均表现不良。这多数是因为裸尾矿基质差,理化性质恶劣,而暴马丁香喜肥沃及阳光充足的环境所致。可见,对裸尾矿进行植被恢复时,应优先选择抗逆性强的树种,而景观花卉树种可在尾矿基质有一定改良后再进行栽植,以改善裸尾矿景观。

综合考虑,本试验中的刺槐和紫苜蓿可分别作为铁尾矿修复的最佳乔木树种和草本植物。

参考文献:

- [1] 李永庚,蒋高明. 矿山废弃地生态重建研究进展[J]. 生态学报, 2004, 24(1):95-100.
- [2] 彭少麟. 恢复生态学与退化生态系统的恢复[J]. 中国科学院院刊, 2000(3):188-192.
- [3] 束文圣,张志权,蓝崇钰. 中国矿业废弃地的复垦对策研究[J]. 生态科学, 2000, 19(2): 24-29.
- [4] 杨修,高林. 德兴铜矿矿山废弃地植被恢复与重建研究[J]. 生态学报, 2001, 21(11): 1932-1940.
- [5] Bradshaw A. Restoration of mined lands-Using natural processes[J]. Ecological Engineering, 1997, 8(4): 255-269.
- [6] 吴欢,周兴. 矿山废弃地生态恢复研究[J]. 广西师范学院学报:自然科学版, 2003, 20(S1):32-35.
- [7] 张继舟,王宏韬,袁磊,等. 重金属污染土壤的植被修复技术[J]. 中国农学通报, 2013, 29(14): 134-139.
- [8] 王克华,刘胜祥. 金属尾矿废弃地的生态恢复[J]. 四川环境, 2003, 22(1): 13-17.
- [9] 王岩,李玉灵,石娟华,等. 不同植被恢复模式对铁尾矿物种多样性及土壤理化性质的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(3): 112-117.
- [10] 何明,翟明普,曹帮华,等. 持续干旱下刺槐无性系光合作用与蒸腾作用的日变化[J]. 山东林业科技, 2005(1):6-8.
- [11] 费延瑞. 刺槐是我省值得重视的优良树种[J]. 吉林林业科技, 1985(4):2-5.
- [12] 杨季云. 花苜蓿生长特性、逆境响应及生态分异研究[D]. 长春:东北师范大学, 2011.
- [13] 张焯,雷晓柱,代进. 铁尾矿生态恢复中蚯蚓粪对植物生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(14):5954-5956.

(编辑 潘秀华)