

· 研究报告 ·

废弃矿山生态复绿常用 17 种植物叶绿素含量 及 SOD 和 POD 活力测定

刘春阳¹, 郑玉红^{2*}, 陆波², 何树兰², 陈晓萱³

(1. 南京市环境科学研究院, 江苏 南京 210013; 2. 江苏省中科院植物研究所(南京中山植物园), 江苏 南京 210014; 3. 江苏大千生态景观股份有限公司, 江苏 南京 210024)

摘要: 选用废弃矿山绿化常用的禾本科、豆科、葡萄科和紫葳科共 17 种为实验材料, 测定了其叶绿素各组分含量及超氧歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活力。结果表明: 叶绿素 a、b 类胡萝卜素和叶片色素总质量比最高的植物分别是胡枝子、狗牙根、牧草型狗牙根和狗牙根, 其质量比分别为 2.46 mg/g · FW、1.10 mg/g · FW、0.32 mg/g · FW 和 3.63 mg/g · FW; 4 者质量比最低的是紫穗槐、三出叶爬山虎、芒和紫穗槐, 为 1.10 mg/g · FW、0.48 mg/g · FW、0.08 mg/g · FW 和 1.70 mg/g · FW。ω_a(叶绿素 a) / ω_b(叶绿素 b) 最高的是牧草型狗牙根, 为 3.03 mg/g · FW, 最低的是芒, 仅为 1.65 mg/g · FW。POD 和 SOD 活力最高的是网络崖豆藤和芒, 达 477.00 U 和 217.20 U, 最低的是牧草型狗牙根和紫穗槐, 仅为 24 U 和 39.43 U。

关键词: 生态复绿; 叶绿素; 超氧歧化酶; 过氧化物酶; 废弃矿山

中图分类号: X835 文献标识码: B 文章编号: 1006-2009(2012)01-0014-06

The Contents of Chlorophyll Components and Activity of SOD and POD of 17 Species Generally Applied in Ecologic Greening of Abandoned Mines

LIU Chun-yang¹, ZHENG Yu-hong^{2*}, LU Bo², HE Shu-lan², CHEN Xiao-xuan³

(1. Nanjing Research Institute of Environmental Protection, Nanjing, Jiangsu 210013 China; 2. Institute of Botany, Jiangsu Province & the Chinese Academy of Science/Nanjing Botanical Garden, Mem. Sun Yat-Sen, Nanjing, Jiangsu 210014 China; 3. Jiangsu Daqian Ecology and Landscape CO., LTD. Nanjing, Jiangsu 210024 China)

Abstract: The contents of chlorophyll components and activity of SOD and POD of 17 species in Gramineae, Leguminosae, Vitaceae and Bignoniaceae generally applied in ecologic greening of abandoned mines were determined. The results were stated as follows: The maximum contents of chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids and total chlorophyll were *Lespedeza bicolor*, *Cynodon dactylon*, *C. dactylon* (for forage) and *C. dactylon*, which were 12.46, 1.10, 0.32 and 3.63 mg/g · FW, respectively. The lowest contents of the four indexes were *Amorpha fruticosa*, *Parthenocissus tricuspidata* (ternate leaf), *Miscanthus sinensis* and *A. fruticosa*, which were 1.10, 0.48, 0.08 and 1.70 mg/g · FW. *C. dactylon* (for forage) and *P. tricuspidata* (ternate leaf) possessed the first and last place for the chlorophyll a/b value. About the activity of SOD and POD, *Millettia reticulata* and *M. sinensis* had the maximum activity, which could reach 477.00U and 217.20U.

Key words: Ecologic greening; Chlorophyll; Superoxide dismutase; Peroxidase; Abandoned mine

生态恢复是将受损的生态系统恢复到历史上的原来状态。进行废弃矿山的生态恢复, 最重要的任务是植被的恢复, 因为所有的自然生态系统的恢复和重建, 都是以植被的恢复为前提的。矿山废弃物及尾矿经长期的堆置会在其表面覆盖一层植被。

有关研究表明, 矿上废弃时间在 4—5 年间, 植物种

收稿日期: 2011-10-20; 修订日期: 2011-12-20

基金项目: 南京市环保科研基金资助项目(201013)

作者简介: 刘春阳(1972—), 男, 江苏姜堰人, 高级工程师, 大学, 从事环境影响评价、环境规划管理工作。

* 通讯作者: 郑玉红 E-mail: friend266@163.com

类较少,且多为一二年生草植物;植物种类增幅较大时期是 7—15 年间;而 15—38 年间植物种类增多的幅度较小^[1]。因此,有必要利用人工种植植被的办法来加速废弃矿山生态系统改善和恢复。

废弃矿山生态复绿是一项新兴边缘学科,涉及岩石力学、生物学、土壤学、肥料学、硅酸盐化学、园艺学和环境生态学等多个学科。我国矿山生态恢复工作开始较早,大约始于 20 世纪 50 年代,近 10 年来的理论研究和实践应用都取得了可喜进展。研究领域主要集中在煤矿废弃地和有色金属矿尾矿的植被恢复等^[2-3]。矿山废弃地整治的关键是在正确评价废弃地类型和特征的基础上进行植被的恢复与重建,进而使生态系统实现自行恢复并达到良性循环^[4]。

矿山生态恢复治理是一项复杂的系统性工程,在众多抗、耐性强的绿色植物中,豆科植物因具有

固氮作用而在石质边坡生态复绿的植物选择中备受青睐;藤本植物对水、肥的需求较草本植物更少,适应性更强,具有更发达的根系和更高的生物量,且坡面绿化效果好,因此相对于草本植物来说,在生态恢复中具有独特的优势。

现选用适应性好、抗逆性优的禾本科、豆科、葡萄科和紫葳科共 17 种为实验材料,测定其叶绿素各组分质量比及超氧歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活力,筛选出适于南京及江苏乃至长江中下游地区生态复绿的物种,为其废弃露矿山的生态复绿提供理论和实验依据。

1 研究方法

1.1 实验材料

于 2011 年 7 月选取废弃矿山绿化常用的豆科、禾本科植物 17 种,见表 1。

表 1 供试实验材料

Table 1 The species and their brief introduction used in the experiment

中文名	拉丁名	科名	属名	生活习性
高羊茅	<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	禾本科	高羊茅属	多年生疏丛型草本
胡枝子	<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.	豆科	胡枝子属	多年生落叶灌木
鸡血藤	<i>Millettia dielsiana</i> Harms.	豆科	崖豆藤属	多年生木质藤本
假俭草	<i>Eremochloa ophiuroides</i> (Munro.) Hack.	禾本科	假俭草属	多年生草本,具匍匐茎
网络崖豆藤	<i>Millettia reticulata</i> Benth.	豆科	崖豆藤属	多年生攀援植物
白三叶	<i>Trifolium repens</i> L.	豆科	三叶草属	多年生草本;茎匍匐
马棘	<i>Indigofera pseudotinctoria</i> Mats	豆科	木蓝属	多年生小灌木或半灌木
紫藤	<i>Wisteria sinensis</i> (Sims) Sweet.	豆科	紫藤属	多年生落叶攀援缠绕性藤本
牧草狗牙根	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	禾本科	狗牙根属	多年生草本,具匍匐茎
凌霄	<i>Campsis grandiflora</i> (Thunb.) Loisel.	紫葳科	凌霄属	多年生落叶木质藤本
狗牙根	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	禾本科	狗牙根属	多年生草本,具匍匐茎
芒	<i>Miscanthus sinensis</i> Anderss.	禾本科	芒属	多年生高大丛生草本
黑麦草	<i>Lolium perenne</i> L.	禾本科	黑麦草属	多年生疏丛型草本
多变小冠花	<i>Coronilla varia</i> L.	豆科	小冠花属	多年生草本,根系粗壮,侧根发达
爬山虎	<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (Sieb. et Zucc.) Planch.	葡萄科	爬山虎属	多年生大型落叶木质藤本
三出爬山虎	<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (Sieb. et Zucc.) Planch.	葡萄科	爬山虎属	多年生大型落叶木质藤本
紫穗槐	<i>Amorpha fruticosa</i> L.	豆科	紫穗槐属	多年生丛生型落叶灌木

17 种植物均种植于南京中山植物园实验苗圃。该苗圃地位于北纬 32.02°,东经 118.28°,年平均温度 15.4℃,1 月平均气温 2.3℃,7 月平均气温 27.7℃,1 月绝对最低气温 -13.0℃,7 月绝对最高温为 43.0℃,年平均降水量为 1 013 mm。试验地土壤有机质含量为(5.098 ± 0.668 8)% ,全氮为(0.212 3 ± 0.018 7)% ,速效磷为(11.2 ± 2.44 × 10⁻⁴)% ,速效钾含量为(257.4 ± 26.0 ×

10⁻⁴)% ,土壤 pH 值为 7.08 ± 0.11,土壤肥力中等且分布均匀,苗圃地实行统一管理。

1.2 实验方法

1.2.1 叶绿素质量比测定

采集供试植物健康全展的功能叶,剪成 0.5 cm² 大小的碎片,用 V(乙醇):V(丙酮) = 1:1 黑暗萃取 24 h,测定萃取液在 470 nm、649 nm、665 nm 处的吸光值,按照下列公式计算叶绿素 a

(Ca)、叶绿素 b (Cb) 和类胡萝卜素 (Cc) 等色素的浓度。

$$\omega_a = 13.95 \times A_{665} - 6.88 \times A_{649}$$

$$\omega_b = 24.69 \times A_{649} - 7.32 \times A_{665}$$

$$\omega_c = (1000 \times A_{470} - 2.05 \times Ca - 11.8 \times Cb) / 245$$

叶绿体色素质量比 (mg/g) = 色素浓度 × 提取液体积 × 稀释液倍数 / 样品鲜重

1.2.2 SOD 和 POD 活力测定

采集供试植物健康全展的功能叶, 剪碎, 加入适量的磷酸缓冲液研磨成匀浆, 3 000 g 离心 10 min, 上清液转入 5 mL 容量瓶中, 沉淀再用磷酸缓冲液重复提取 2 次, 合并上清液, 定容, 4 ℃ 保存, 备用。参照文献 [5] 方法测定 POD、SOD 活性。

2 结果分析

2.1 17 种供试植物的叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素质量比

胡萝卜素质量比

叶绿素是一类与光合作用有关的最重要的色素。叶绿素质量比不仅跟光合作用直接相关, 叶片中各色素质量比的比例决定了植物的叶色, 跟植物的观赏价值也有着直接的关系。叶绿素 a 是光反应中心复合体的主要组成成分, 也是执行能量转化的光合色素, 有利于吸收长波光; 叶绿素 b 是捕光色素蛋白复合体的重要组成部分, 其作用在于捕获与传递光能, 有利于吸收短波光。其中 ω_a (叶绿素 a) / ω_b (叶绿素 b) 与光合器官的发育状态及光合活性相关。因此, 叶绿素质量比与光合作用密切相关, 是衡量光合作用强弱的重要因素。植物叶绿体中的类胡萝卜素包括两种色素, 即胡萝卜素和叶黄素, 其功能为吸收和传递光能进行光合作用, 同时保护叶绿素^[6]。17 种生态复绿植物的叶绿素 a 质量比见图 1。

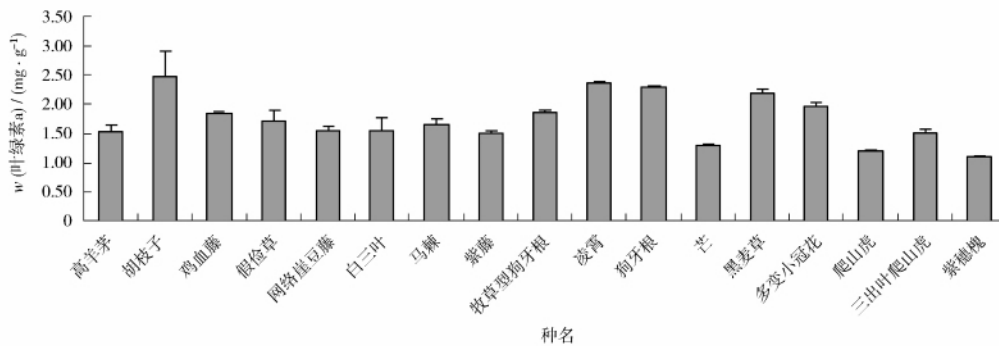


图 1 17 种生态复绿植物的叶绿素 a 质量比

Fig. 1 The contents of chlorophyll a of 17 species for ecologic greening

由图 1 可见, 豆科胡枝子属植物胡枝子的叶绿素 a 质量比最高, 达 2.46 mg/g · FW, 其次是凌霄和狗牙根, 为 2.36 mg/g · FW 和 2.29 mg/g · FW;

紫穗槐叶绿素 a 质量比最低, 为 1.10 mg/g · FW。17 种生态复绿植物的叶绿素 b 质量比见图 2。

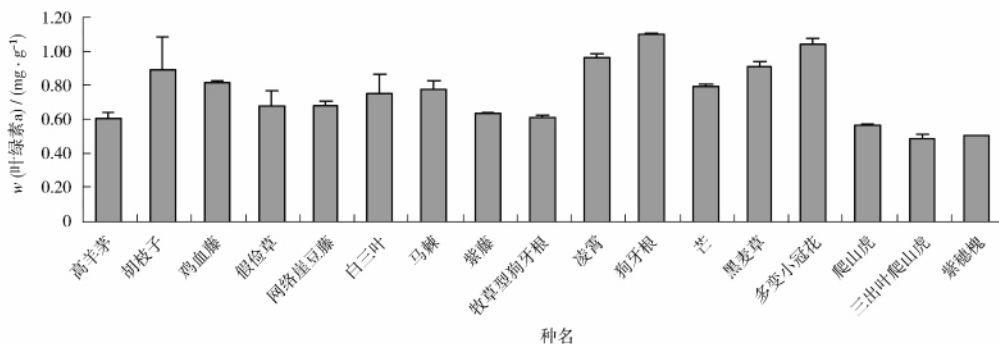


图 2 17 种生态复绿植物的叶绿素 b 质量比

Fig. 2 The contents of chlorophyll b of 17 species for ecologic greening

由图 2 可见, 狗牙根的叶绿素 b 质量比最高, 为 1.10 mg/g · FW, 三出叶爬山虎叶绿素 b 质量比

最低, 仅为 0.48 mg/g · FW。17 种生态复绿植物的类胡萝卜素质量比见图 3。

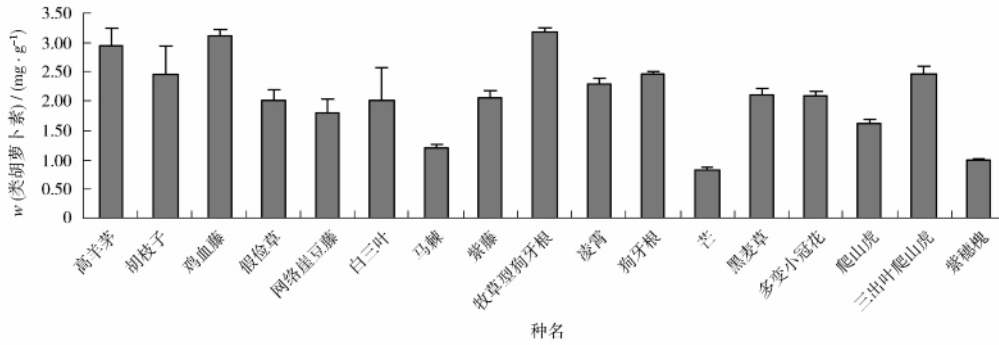


图 3 17 种生态复绿植物的类胡萝卜素质量比

Fig. 3 The contents of carotenoids of 17 species for ecologic greening

由图 3 可见, 牧草型狗牙根的类胡萝卜素质量比最高, 为 0.32 mg/g · FW; 芒的类胡萝卜素最低,

仅为 0.08 mg/g · FW。17 种生态复绿植物的叶片色素质量比见图 4。

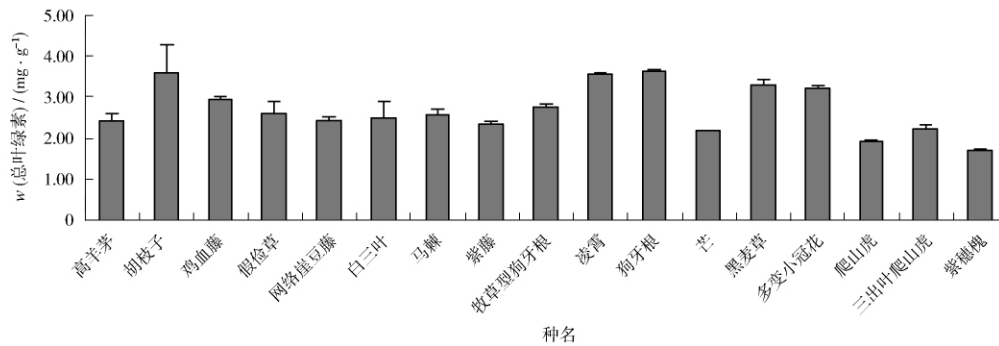


图 4 17 种生态复绿植物的叶片色素总量

Fig. 4 The contents of total chlorophyll of 17 species for ecologic greening

由图 4 可见, 17 种植物中狗牙根的叶绿素总量最高, 达 3.63 mg/g · FW, 其次为胡枝子和凌霄, 分别为 3.59 mg/g · FW 和 2.46 mg/g · FW; 紫穗

槐叶绿素总量最低, 仅为 1.70 mg/g · FW, 不足狗牙根的 1/2。17 种生态复绿植物的 ω_a (叶绿素 a) / ω_b (叶绿素 b) 见图 5。

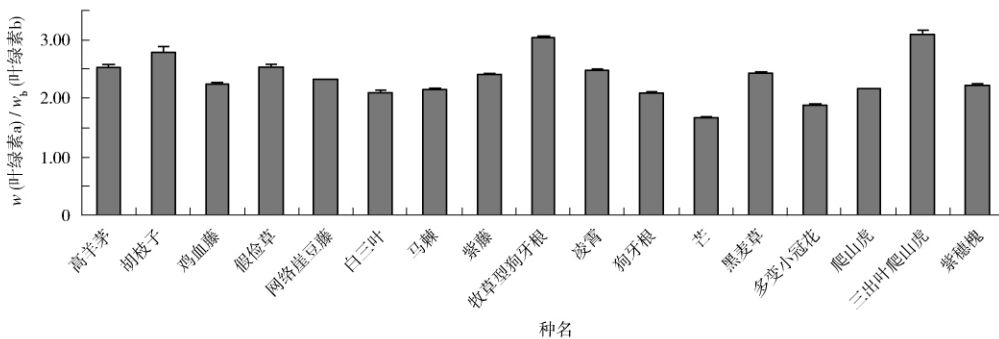


图 5 17 种生态复绿植物的 ω_a (叶绿素 a) / ω_b (叶绿素 b)

Fig. 5 The chlorophyll a/b of 17 species for ecologic greening

由图 5 可见, 牧草型狗牙根的 ω_a (叶绿素 a) / ω_b (叶绿素 b) 最高, 为 3.03; 芒的 ω_a (叶绿素 a) / ω_b (叶绿素 b) 最低, 为 1.65, 是狗牙根的 54.46%。

2.2 17 种供试植物的 SOD 和 POD 活力比较

植物体有清除活性氧的酶系统和非酶促清除剂, 可防御活性氧对细胞的伤害。SOD 是抗氧化系统中一种在生物体普遍存在并极为重要的酶, 是

植物体内清除活性氧系统的第一道防线, 对防止活性氧自由基的毒害至关重要。POD 作用是催化 SOD 催化的 O_2^- 歧化反应产物之一的 H_2O_2 , 将 H_2O_2 还原为 H_2O , 用以清除细胞内的 H_2O_2 , POD 与 SOD 协同作用, 可以使活性氧维持在较低的水平^[7-8]。17 种生态复绿植物的 POD 活力、SOD 活力分别见图 6、图 7。

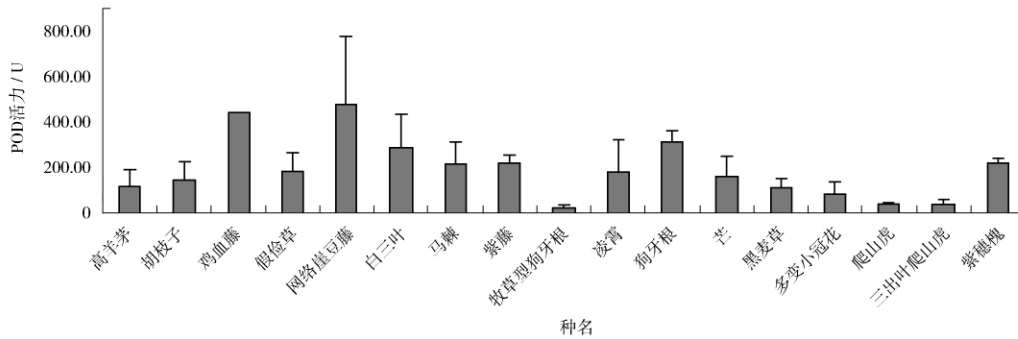


图 6 17 种生态复绿植物的 POD 活力

Fig. 6 The POD activity of 17 species for ecologic greening

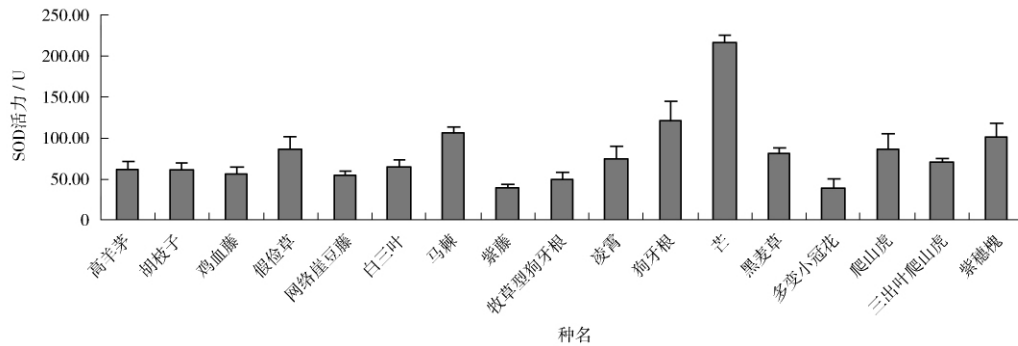


图 7 17 种生态复绿植物的 SOD 活力

Fig. 7 The SOD activity of 17 species for ecologic greening

由图 6、图 7 可见, 豆科植物网络崖豆藤的 POD 活力最高, 达 477.00U, 其次为豆科的鸡血藤, 443.50U; 活力最低的是牧草型狗牙根, 24U, 仅为网络崖豆藤 POD 活力的 5%, 其次为爬山虎和三出叶爬山虎, 分别为 39.00U 和 41.00U, POD 活力也不足网络崖豆藤的 8%。SOD 活力最低的是紫藤, 仅 39.43U, SOD 活力最高的是芒, 为 217.20U, 是狗牙根的 5.50 倍。SOD 活力和 POD 活力之和居于前 3 位的分别为网络崖豆藤、鸡血藤和狗牙根, 最低的是牧草型狗牙根。

3 讨论

3.1 17 种常用植物适生性的综合评价

刁逢光^[9]和周巍等^[10]对 8 种豆科植物在杭徽高速公路昌昱段石质边坡复绿上的应用试验结果表明: 白三叶和紫穗槐的成活率最高, 地上和地下生物量及优势度最大, 认为白三叶、紫穗槐是浙江地区边坡复绿首选植物材料。

废弃矿山的土质情况特殊, 尤其是废弃金属矿山不仅土层薄, 土壤还受到多种金属离子的污染。其土壤微生物数量和多样性指数、微生物生物量碳以及纤维素分解强度均显著降低, 土壤脲酶、碱性磷

酸酶、多酚氧化酶的活性明显受到抑制^[11]。这就要求其生态复绿植物有较强的光合能力、根系活力和抗逆性。

实验中豆科 7 种植物的 SOD、POD 总活力平均值为 327.22U, 其余 10 种植物 SOD、POD 平均值为 224.88U。豆科植物活性氧的清除能力明显优于其他物种。叶片色素总量胡枝子(3.59 mg/g·FW)也仅次于狗牙根(3.63 mg/g·FW)排在第二位。实验结果与斜逢光和周巍等的结论一致。考虑到豆科植物强大的固氮能力, 豆科植物应是长江中下游地区废弃矿山上生态复绿的首选植物。

除此之外禾本科植物狗牙根在叶片色素总量最高, 为 3.63 mg/g·FW, SOD、POD 总活力为 432.20U, 仅次于胡枝子和网络崖豆藤排在第 3 位; 同时由于狗牙根具有根状茎和匍匐茎, 有生长速度快、耐贫瘠等优点, 与豆科的灌木搭配使用, 可以营造出优良的景观, 也是矿山绿化的良好物种。

3.2 废弃矿山生态复绿物种的选择

三出叶爬山虎和牧草型狗牙根 SOD 和 POD 活力不高, 其叶片色素总量在供试的 17 种植物中也只处于中等水平, 但其 ω_a (叶绿素 a)/ ω_b (叶绿素 b) 分别为 3.08 和 3.03, 在 17 种植物中列第一、二位。植物 ω_a (叶绿素 a)/ ω_b (叶绿素 b) 与植物生长的环境条件关系密切。 ω_a (叶绿素 a)/ ω_b (叶绿素 b) 较高的植物, 对弱光、干旱等逆境的耐受性更强^[12-13]。作为藤本植物, 爬山虎能很好地覆盖地表, 且栽植面积小, 如用作石壁绿化的先锋植物对石壁覆盖后, 可以成为后续其他藤本植物攀援的“辅助设施”。另外, 由于爬山虎匍匐茎纵横交错, 形成覆盖网, 叶下又形成小气候, 使附生植物苔藓、地衣等得以存活^[14]。牧草型狗牙根比坪用狗牙根的植株高大, 生长速度更快, 因此二者也都是废弃矿山阴坡绿化的良好备选物种。除此之外, 供试植物中, 高羊茅、黑麦草和白三叶对重金属镉也表现出良好的耐受性^[15]。综合实验的结果表明, 三者均

可用于废弃镉矿或镉污染矿山的生态复绿和植物修复。

[参考文献]

- [1] 吴和政, 郑薇. 我国矿山生态环境及生态恢复技术的现状[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008(7): 46-48.
- [2] 王蓉丽, 方英姿, 徐明. 废弃矿山生态复绿技术研究进展[J]. 山西建筑, 2011, 37(10): 200-202.
- [3] 黄敬军. 废弃露天矿山环境治理工程规划投资估算研究[J]. 水文地质工程地质, 2007(2): 109-112.
- [4] 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): 73-78.
- [5] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 191-205.
- [6] ROMAN K, PETR I, JAN N, et al. On the limits of applicability of spectrophotometer and spectrofluorimetric methods for the determination of chlorophyll a/b ratio [J]. Photosynthesis Research, 1999(62): 107-116.
- [7] BOWLER C, MONTAGU M V, INZE D. Superoxide dismutase and stress tolerance [J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1992(43): 83-116.
- [8] 石永红, 万里强, 刘建宁, 等. 干旱胁迫对 6 个坪用多年生黑麦草品种抗旱性的影响[J]. 草地学报, 2009, 17(1): 52-57.
- [9] 斜逢光. 豆科植物在高速公路边坡复绿中的应用研究[J]. 地下空间与工程学报, 2008, 4(1): 185-189.
- [10] 周巍, 周小洁, 陈强, 等. 8 种豆科植物在石质边坡生态复绿上的应用研究——以杭徽高速昌昱段石质边坡为例[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(23): 9973-9975.
- [11] 王建坤, 张小平, 周薇. 铅锌矿区土壤微生物区系及酶活性调查[J]. 环境监测管理与技术, 2009, 21(4): 23-27.
- [12] 师生波, 李惠梅, 王学英, 等. 青藏高原几种典型高山植物的光合特性比较[J]. 植物生态学报, 2006, 30(1): 40-46.
- [13] 卢存福, 贲桂英, 韩发, 等. 矮蒿草光合作用与环境因素关系的比较研究[J]. 植物生态学报, 1995(19): 72-78.
- [14] 郑伟忠. 藤本植物在浙江采石场石壁生态复绿中的应用[J]. 黑龙江农业科学, 2010(3): 74-76.
- [15] 李艳, 卜现亭. 几种公路绿化草本植物对 Cd 的积累作用[J]. 环境监测管理与技术, 2011, 23(4): 22-26.

· 简讯 ·

美国发布《2012 能源展望》

人民网消息 美国能源部能源信息署日前发布的《2012 能源展望》报告指出, 增加天然气、可再生能源和石油产量, 同时提高能源效率, 这些举措都将帮助美国在 2035 年之前, 有效降低对煤炭和进口能源的依存度。

预计届时能源领域的碳排放量将低于 2005 年水平。到 2035 年, 美国的能源进口比例将从 2010 年的 22% 下降到 13%, 原油产量将从 2010 年的 550 万桶增加到 2020 年的 670 万桶, 增幅超过 20%。此外, 美国一次能源的消耗总量将从 2010 年的 98.2 千兆英热单位上升到 2035 年的 108 千兆英热单位, 其中化石燃料所占比例从 83% 下降到 77%。

摘自 www.jshb.gov.cn 2012-02-16