

矿区植物——环境恢复的重要资源

Plant in Mining Area: Important Resources for Environmental Restoration

毕 德 / BI De^{1, 2}, 吴龙华 / WU Long-hua¹, 骆永明 / LUO Yong-ming¹, 周守标 / ZHOU Shou-biao²

1. 中国科学院南京土壤研究所土壤与环境生物修复研究中心, 南京 210008

2. 安徽师范大学生命科学学院, 安徽芜湖 241000

1. Soil and Environment Bioremediation Research Centre, Institute of Soil Science, CAS, Nanjing 210008, China

2. School of Life Sciences, Anhui Normal University, Wuhu 241000, Anhui Province, China

[摘要] 综述了矿区植物的研究现状, 矿区植物的生态学、遗传学、植物分类学特性, 矿区植物对重金属的耐性与吸收性, 矿区植物在矿山及污染环境修复中的功能与作用; 最后, 探讨了矿区植物资源研究的未来发展方向。

[关键词] 矿区植物; 环境恢复; 资源

[中图分类号] Q948.5

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)03-0029-04

Abstract: A belief review on the advances of research on plants in mining area was introduced in this paper. The plants' common kinds, characteristics on ecology, genetics and taxonomy were summarized. The endurance and uptake of the heavy metals, the role and importance of plants in mining area were also introduced. In the end, the future research aspects were discussed.

Key Words: mining-area plant; environment restoration; resource

CLC Number: Q948.5

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)03-0029-04

1 引言

所谓矿区植物, 是指在自然条件下能适应矿区环境, 并在矿区世代生长、繁衍, 完成整个生活周期的植物。我国矿山开采造成的生态破坏和环境污染十分严重。大型矿山生态恢复困难重重, 小型矿山乱采滥挖破坏生态现象普遍, 矿山生态环境保护监管薄弱, 局部地区出现失控^[1]。矿产开发引起的环境问题具有涉及面广、排放量大等特点。我国每年采矿排出的废石矿渣约5 000万t, 堆放占用土地6 667 hm², 全国1 500多个露天煤矿及煤矸石占地就达200万hm²以上^[2]。我国最近一次完成的矿区生态环境调查是在1994年, 调查显示, 我国矿区土地复垦率仅为10%, 采矿占用土地达到586万hm², 破坏各类土地157万hm², 并且以每年4万hm²的速度递增^[3]。矿区开采和矿区工程建设

对土壤、岩石形成扰动, 破坏了矿区的土壤层, 使地面变得疏松, 甚至使原地貌面目全非, 出现大面积的风蚀沙化土地, 导致大量的植物物种消失。目前, 由于人类的活动, 平均每6 h就有一种植物从地球上消失, 地球上30%~70%的植物将在100年内消失^[4]。矿区植物常因地下开采导致的地面塌陷、地下水渗漏而生长不良甚至死亡, 从而使矿区地表植被遭到严重破坏。这些植被的毁坏改变了矿区生态条件, 造成水分涵养下降, 破坏了地表径流的下渗过程, 破坏了正常生态食物链, 影响了生态平衡。植被遭破坏, 又是沙尘暴、泥石流和山体滑坡频繁发生的重要原因, 继而使环境污染进一步加剧。随着我国社会经济的高速发展, 资源和环境压力越来越大, 环境污染和生态

破坏已成为危害人体健康、制约经济和社会发展的因素。因此, 受矿区活动影响区域的生态环境的恢复已成为一项刻不容缓的任务。而作为矿区植被构建的主体——矿区植物的开发和应用成为了矿区生态环境恢复的重要资源, 同时矿区发现的重金属超积累植物也是重金属农田土壤植物修复的重要资源, 因此, 对矿区特殊植物的保护和深入研究, 对于环境恢复具有重要意义。

有关矿区植物的研究现状, 美国Jordan等人在20世纪70年代开展了对采矿地植被的恢复工作。首先涉及到的是矿区植物报道^[5], 《Restoration Ecology: A Synthetic Approach to Ecological Research》一书的出版和《Restoration Ecology》杂志的创刊, 标志着在20世纪90年代恢复生

收稿日期: 2005-12-05

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目 (2004AA649050)

作者简介: 毕 德, 男, 安徽省芜湖市北京东路1号安徽师范大学生命科学学院, 硕士生, 主要从事植物分类与植物环境生理研究;

E-mail: bide@issas.ac.cn

吴龙华 (通讯作者), 男, 南京市北京东路71号中科院南京土壤研究所, 副研究员, 主要从事土壤重金属污染与修复研究;

E-mail: lhwu@issas.ac.cn

态学已成为研究的热点领域之一^[6]。我国自20世纪50年代后期开始,在寸草不长的侵蚀地上开展植被重建试验,为热带、亚热带荒山草坡的森林植被的恢复和改造利用提供了科学依据和示范样板^[7]。随着一些能够在地上部分大量富集污染物的特殊植物——超积累植物(hyperaccumulator)的不断发现^[8],一种被誉为廉价的重金属污染的“绿色修复技术”^[9]即植物修复(phytoremediation)技术受到了广泛关注。从此,矿区植物在矿区废弃地、重金属污染农田等的生态恢复作用渐渐受到重视。但是,至目前为止,把矿区植物作为一种主要矿区生态环境恢复的手段要素来研究、真正涉及矿区植物的具体研究工作并不多。本文将主要就矿区植物的特性、功能与作用,以及矿区植物将来大的研究方向作一简述。

2 矿区植物的特性

矿区环境被人类活动破坏后,许多物种的种群大小会萎缩,且一些物种会灭绝,但并不是所有的物种都具有一个相等的趋于灭绝的可能性^[10]。每种植物作为生态系统中的一个成员,在其原产地的自然环境条件下各自都处于食物链的相应位置,相互制约,所以种群保持着相对稳定的状态,这是自然界的普遍规律^[11]。矿区植物也不例外,很多矿区植物长期受到矿区异常金属或非金属成矿作用的影响,已适应该生长环境,对本地逆境条件具有很强的耐性、适应性,甚或偏好性。同时,由于矿区植物生长在特殊的环境下,如不同矿区土壤的理化性质、气候条件等生态因子会有较大的变异,因此,不同矿区植物又有了自己的不同特点。

2.1 矿区植物生态学及遗传学特性

2.1.1 植物多样性较低

矿区植物多样性较低,其主要原因是采矿活动破坏了一些地区的原生生境,如作为物种源的大型植被被破碎为一些小型的残遗斑块,影响了作为跳板(Stepping Stone)的林斑功能发挥,造成生物迁徙受阻。本土植物群落受到破坏,植被急剧发生向下的演替过程,这些都直接影响了内部物种的数量和质量^[12],因而导致矿区生物多样性的降低。

2.1.2 同种植物较非矿区自然状态下生物量小

因矿区一般土壤条件恶劣,缺少植物生长所需的营养元素,同时植物生长又受到各种胁迫反应,比如重金属胁迫反应,造成矿区植物生物量小。

2.1.3 植物种群密度高、物种单一

众所周知,在遗传学上,不同物种不能交配产生后代,或交配后不能产生有生殖能力的后代。在生态学上,种群是在一定区域内、具有极其相近的形态特征和生理生态特征的物种的集合体。在矿区不良的生态环境下,植物种的种群密度高、物种单一也是长期进化适应的结果。

2.1.4 不同矿区优势植物种明显不同

不同矿区的矿区植物一般都有各自明显的优势种,主要由于不同矿区的土壤类型、土壤污染类型不同,以及不同类型的植物具有不同的生理适应机制。

2.1.5 物种多为地理分布区广布种、物种种子多数具备有效散布特性

一般认为,自然选择的成功与否取决于两个基本因素,即生活力及生殖力。生活力以达到生殖年龄的基因型概率来衡量,生殖力则是以基因型所产生有功能的配子数量衡量。生存对个体本身很重要,但向后代传递基因才是物种进化的关键^[13]。因此,矿区植物为了在矿区残酷的条件下生存,物种地理分布区广阔与否、物种种子是否具备有效散布手段成为优胜劣汰的关键。

2.2 矿区植物的植物分类学特征

植物依其茎的质地可划分为木本和草本,矿区植物多以草本为主、木本为辅。木本植物根据其大小和生长状态又分为乔木、灌木、小灌木、半灌木;草本植物根据其生活期又可分为一年生草本、二年生草本、多年生草本^[14]。矿区中存在的木本植物以小灌木及半灌木居多,灌木次之,乔木极少;草本植物中以一年生、二年生植物居多,多年生植物较少。

矿区植物常见种有:木本植物有毛泡桐 *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud., 构树 *Broussonetia papyrifera* (L.) Her. ex Vent., 白背叶野桐 *Mallotus apeltus* (Lour.) Muell.-Arg., 尾叶樱 *Cerasus dielsiana* (Schneid.) Yu et Li, 杞柳、檉木、马尾松 *Pinus massoniana* Lamb., 盐肤木 *Rhus chinensis* Mill.等;草本植物有蕨 *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn var. *latiusculum* (Desv.) Underw. 井

栏边草 *Pteris multifida* Poir., 博落回 *Macleaya cordata* (Willd.) R. Br. ex G. Don, 蜈蚣草 *Pteris vittata* L., 苦蕒菜 *Ixeris polycephala* Cass., 白茅 *Imperata cylindrica* (L.) Beauv. var. *major* (Nees) Hubb., 五节芒 *Miscanthus floridulus* (Labill.) Warb. ex K. Schum et Lauterb., 醉鱼草 *Buddleja lindleyana* Fort., 鸭跖草 *Commelina communis* L., 芒萁 *Dicranopteris pedata* (Houtt.) Nakai, 节节草 *Hippochaete ramosissima* (Desf.) Boerner, 商陆、苘麻 *Boehmeria nivea* (L.) Gaud., 虎杖 *Polygonum cuspidatum* Sieb. et Zucc., 山类芦 *Neyraudia montana* Keng, 一年蓬 *Eriogon annuus* (L.) Pers., 杠板归 *Polygonum perfoliatum* L., 水蓼 *Polygonum hydropiper* L. 及景天属、蔷薇属植物等。上述常见植物种因根据矿区所含主要金属的种类及生态环境的破坏程度不同而呈非正态分布,随机性很大。此外,重金属污染地区的植物重金属测量结果显示,相同地区不同植物对重金属的吸收有明显的差异,即使是相同的植物,不同的部位也表现不同,多为地下部分高于地上部分。

2.3 矿区植物对重金属的耐性与吸收的类型

2.3.1 超积累或富集型

如蜈蚣草 *Pteris vittata* L., 商陆 *Phytolacca acinosa* Roxb., 苘麻 *Boehmeria nivea* (L.) Gaud.

2.3.2 耐受型

金属主要集中在植物根部,或有部分向地上部运输和贮存而不产生明显的毒害症状,如攀倒甌 *Patrinia villosa* (Thunb.) Juss, 木贼 *Hippochaete hiemale* (L.) Boerner, 海州香薷 *Elsholtzia splendens* Nakai ex F. Maekawa.

2.3.3 非耐性或敏感型植物

这类植物仅见于轻污染区,其在重金属含量高的矿区土壤上常生长不良,甚至不能完成整个生活史。

3 矿区植物的功能与作用

3.1 矿区植物的指示作用

指示植物是指那些能反映所生长的环境中某些元素或物理化学特性的植物。指

示植物多种多样,如有些是土壤酸碱性的指示植物,如茶、杜鹃、芒其等的存在表明当地土壤呈强酸性,碎米蕨、铁线蕨、肾蕨则是钙质土的指示植物;一些植物为气候带的指示植物,如生长杪栎、莲坐蕨的地区表明为热带潮湿气候带;有些植物可作某些矿藏的指示植物,如问荆、云杉可用以指示金矿,海州香薷可以指示铜矿,喇叭茶可指示铀矿等。此外,指示植物在农林、探矿和环境保护方面,均有重要的作用^[1]。

3.2 矿区植物的植物修复作用

植物修复的机理主要是指植物对污染物的吸收、积累和转化作用。用于进行修复的植物几乎包括所有的高等植物,植物修复的关键是超积累植物的筛选与驯化。目前的植物修复试验多处于试验探索阶段,大规模的工程应用较少。目前报道的全世界500余种超积累植物绝大部分是在矿区被发现的^[16]。重金属污染土壤的植物修复可分为以下4种类型^[17]:

- ①植物提取(Phytoextraction);
- ②植物挥发(Phytovolatilization);
- ③植物稳定(Phytostabilization);
- ④植物转化(Phytotransformation)。

作为植物修复处理污染物的特定植物,其作用机理可以是上述3种中的1种,也可以是2种或3种共同存在。对于植物修复重金属污染土壤的机理已有很多报道,不再赘述,仅就植物修复的优点和缺点作一概述^[18-21]。与传统的污染土壤修复技术相比,植物修复有如下优点:①植物修复最显著的优点是价格便宜;②植物修复是原位修复,不需要挖掘、运输和巨大的处理场所;③植物修复不会破坏景观生态,能绿化环境,容易为大众所接受。

任何技术都不是万能的,植物修复也有其局限性,主要表现为:①修复速度慢;②植物修复受到土壤类型、温度、湿度、营养等环境条件限制;③污染物必须是植物可利用态并且只能处于根系区域;④污染物在植物中累积可能提高了污染物对野生生物的威胁;⑤用于修复的植物与当地植物的竞争,可能破坏本地的生态平衡。

此外,矿区植物的植物修复作用还包括矿区污染土壤的植物—微生物及动物的协同修复。

3.3 矿区植物的复垦作用

矿山废弃物及尾矿经过长期的堆置会在其表面覆盖一层植被。研究表明^[22],采

矿地中磷、钾、镁和钙等营养元素的缺乏难以由自然过程所恢复,或者需要很长的一段时间。矿山废弃时间在4~5年间,植物种类较少,且多为一、二年生草本植物。植物种类增幅较大时期是7~15年间,而15~38年间植物种类数量增多的幅度较小^[23]。这一研究给我们一个启示,人类是完全可以利用人工种植植被的方法改善和恢复生态系统的^[24]。在矿山开采过程中,植被的破坏首当其冲,随后引发一系列的生态环境问题。因此,矿区生态恢复的优先目标应当是重新恢复植被,将采矿损毁的土地作为林地、草地或野生生物栖息地,恢复本地自然生态系统^[25]。

3.3.1 矿区植物的主要复垦作用

矿区植物的主要复垦作用有:①利用不同种类的人工植物群落的整体结构,增加植被覆盖度,减缓地表径流,拦截泥沙,调蓄土壤水分,防止风蚀及粉尘污染;②利用植物的有机残体和根系的穿透力以及分泌物的物理、化学作用,改变下垫面的物质、能量循环,促进废石渣的成土过程;③利用植物群落根系错落交叉的整体网络结构,增加固土防冲能力,保障工矿区工程建设的顺利进行,以及工程建设结束后退化生态系统的迅速恢复和重建^[26]。

3.3.2 矿区废弃地复垦植物品种的筛选

总的来说,土壤基质的改良,如有机添加剂可以帮助先锋植物的存活和定植^[27]是复垦成功的基础,耐受矿区逆境条件的适宜植物品种的筛选是复垦成功的关键。先锋植物的选择,即在当地进行详细的野外调查,寻找先锋种群,确定先锋种群的组合,并进行优化筛选,然后确定种植的种类,进行全区域播种或种植,使这些先锋植被迅速地覆盖废弃地,比如煤矸石山及其它一些难以复垦的金属矿渣堆。同时,调查应基于当地条件并结合当地的地理位置、气候等自然条件,优先选择那些耐干旱、有固氮能力、较易播种栽植、根系分蘖力强、成活率高、耐贫瘠、萌发强、生长快的品种,尽可能采用乡土品种以及根系发达的乔灌木和优先选择国内外已筛选出的矿山固体废弃物堆绿化先锋品种,并遵循乔、灌、花草混植和先绿化品种后经济品种的原则。总之,实用的筛选先锋植物方式莫过于就地取材,即选择本身能在要治理的矿区内茁壮成长且生物量大的植物,而后加以人工繁育技术,扩大其生

长范围,以期达到迅速修复环境的目的。

4 矿区植物的研究未来发展方向与展望

4.1 矿区植物研究未来应加强的方面

4.1.1 加强对矿区物种资源的保护

减少对矿区的人为干扰与破坏,创造适于矿区植物继续繁衍生息的水文、气候等条件,缓解矿区环境对植物的胁迫,利于植物生长、繁殖。同时,加强矿区植物的野外调查工作,筛选新的耐重金属污染或超富集重金属的植物物种,利用矿区植物进行矿区复垦和植物修复工作。

4.1.2 开展矿区植物分子生物学和生理学研究

利用矿区植物对重金属(或其它污染物)的耐性和高度吸收性,建立矿区植物基因库并开展相应的植物基因工程技术以改良植物品种(基因工程不能创造新种),构建出高效且安全的去除环境污染物的植物;利用已从矿区筛选的超积累植物材料,开展相应的植物吸收重金属的生理机制研究,分离、克隆那些在重金属富集过程中起重要作用的基因和调控元件,并进行相关的环境风险评价研究。

4.1.3 开展矿区植物生长与污染重金属吸收的强化途径研究

调节土壤、植物、微生物体系,达到修复植物高产及增加植物对重金属吸收量的目标,并进行相关风险评价研究。

4.1.4 开展修复植物产后处置配套技术体系的研究

形成修复植物的综合处置或资源化利用技术,以降低植物修复的二次污染风险,提高植物修复技术的经济效益,从而使矿区植物在矿山环境恢复、污染环境修复中发挥至关重要的作用。

4.2 矿区植物研究展望

“绿色矿业”的概念,就是要在矿山环境扰动量小于区域环境容量的前提下,实现矿产资源开发最优化和生态环境影响最小化,在采矿前对矿区植物采取尽可能的积极保护措施。《道德经》中“道大,天大,地大,人亦大。域中有四大,而人居其一焉”,认为人是宇宙万物之一部分,应当师法自然。因此,将来如何在避免或减轻矿区环境的污染与破坏的同时,做好矿区植物资源的开发与利用工作,以保证满足经济快速发展的矿产资源需求,是当今世界各国面临的重要课题,对保持我国社会经

济可持续发展具有重要的理论和实际意义。此外,中国作为一个植物资源大国,有极其丰富的植物种质资源,仅植物本身具有固氮作用的豆科植物种就有1 660个亚种和变种,隶属于172个属^[27]。研究表明,利用固氮植物和菌根植物改良废弃地是经济效益与生态效益俱佳的方法^[28, 29]。我们坚信,经过耐心细致的野外调查,我们一定能发现许许多多的优良矿区植物品种,并有望发现多种超积累植物。最后,在对待外来技术上,我们不能照搬别人现成的经验,要走自己的路。在矿区植物的开发和应用方面应当有所作为,以便在未来的矿区植物研究领域取得长足的进步。

参考文献 (References)

- [1] 王松岩, 施卫明, 曹志洪. 重金属的植物修复—绿色清洁的污染治理技术[J]. 核农学报, 2000, 14(5): 315-320.
- [2] 凌婉婷, 贺纪正, 高彦征. 我国矿区土地复垦概况[J]. 农业环境与发展, 2000, 17(4): 34-36.
- [3] 国土资源部. 2004年中国国土资源公告[EB/OL]. <http://www.mlr.gov.cn>
- [4] 李振刚. 现代分子生物学论纲[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 2003.
- [5] 李贤伟, 罗承德. 长江上游退化森林生态系统恢复与重建会议[J]. 生态学报, 2001, 12(21): 2 117-2 124.
- [6] CHRISTENSEN N L. The report of the ecological society of America Committee on the scientific basis for ecosystem management [J]. Ecological Application, 1996, 6(3): 665-691.
- [7] 王伯荪, 彭少麟. 植被生态学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1997.
- [8] 韦朝阳, 陈同斌, 黄泽泰, 等. 大叶井口边草: 一种新发现的富集砷的植物[J]. 生态学报, 2002, 22(5): 777-778.
- [9] WEI C Y, CHEN T B. Hyperaccumulators and phytoremediation of heavy metal contaminated soil: a review of studies in China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(7): 196-203.
- [10] 季维智. 保护生物学基础[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000.
- [11] 谢国文, 周守标, 等. 生物多样性保护与利用[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2000.
- [12] 刘海龙. 采矿废弃地的生态恢复与可持续景观设计[J]. 生态学报, 2004, 24(2): 32-329.
- [13] 戴灼华, 王亚巍. 遗传学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [14] 陆时万, 徐祥生, 沈敏健. 植物学(第二版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1991.
- [15] 生命经纬. <http://www.biox.cn/content/20050828/35725.htm>
- [16] 胡振琪, 杨秀红, 鲍艳, 等. 论矿区生态环境修复[J]. 科技导报, 2005, (1): 38-41.
- [17] 袁敏, 铁柏清, 唐美珍. 土壤重金属污染的植物修复及其组合技术的应用[J]. 中南林业学院学报, 2005, 25(1): 81-85.
- [18] KHAN A G. Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation [J]. Chemosphere, 2000, 41: 197-207.
- [19] CUNNINGHAM S D, DAVID W O. Promises and prospect of phytoremediation [J]. Plant Physiology, 1996, 110: 715-719.
- [20] CUNNINGHAM S D. Phytoremediation of contaminated soils [J]. Tibtech, 1995, 13: 393-397.
- [21] MACEK T. Exploitation of plants for the removal of organics in environmental remediation [J]. Biotechnology, 2000, 18: 23-24.
- [22] BRADSHAW A. Restoration of mined lands—using natural processes [J]. Ecological Engineering, 1997, (8): 255-269.
- [23] 刘天齐. 环境保护[M]. 北京: 化学工业出版社, 1996.
- [24] 朱利东, 林丽, 等. 矿区生态重建[J]. 成都理工大学学报, 2001, 28(3): 310-314.
- [25] 戴塔根, 刘星辉. 我国矿区生态恢复制度几个问题及改进建议[J]. 矿冶工程, 2004, 5(24): 1-5.
- [26] 王洁, 周跃. 矿区废弃地的恢复生态学研究[J]. 安全与环境工程, 2005, 1(12): 5-8.
- [27] 黄铭洪, 骆永明. 矿区土地修复与生态恢复[J]. 土壤学报, 2003, 2(40): 161-170.
- [28] SU W S, ZHANG Z Q, LAN C Y. Strategies for restoration of mining wastelands in China [J]. Ecological Science, 2000, 19(2): 73-78.
- [29] MO C H, CAI Q Y, WANG J H, et al. Application of sewage sludge to the abandoned mining land reclamation [J]. Chinese Journal of Ecology, 2001, 20(2): 44-47.

(责任编辑 王 芷)



· 学术不端行为举报信箱 ·

为净化学术环境, 打击学术不端行为, 倡导老老实实、认认真真的科学作风, 本刊特开设“学术不端行为举报信箱”栏目。读者如发现科技工作者在自然科学领域有论文抄袭剽窃、一稿多投、数据造假等学术不端行为, 均可向我刊提供证据举报。一经查

《科技导报》编辑部公告

实, 我刊将刊登举报内容、反馈信息和读者反映。本刊承诺为举报者保密, 凡证据缺乏、证据不详或无法查实的举报行为, 本刊一律不予受理。本刊同时欢迎读者对《科技导报》评刊。凡有价值的读者来信, 本刊均将摘要刊登。举报信箱和读者来信信箱均为: hly@cast.org.cn。

举 报: 范希智、刘旭、顾培夫、唐晋发 4人撰写的同一篇论文“稀土有机配

合物电致发光器件的研究进展”分别在《半导体光电》杂志2002年第2期第73页和《光学仪器》杂志2002年第3期第38页上发表。“范”在《半导体光电》中的署名单位是南京大学固体微结构国家重点实验室, 在《光学仪器》中为鞍山师范学院物理系; 其余3位作者在两份刊物中的署名均是浙江大学现代光学仪器国家重点实验室。

(本刊编辑部)